

DISERTASI

**PENGEMBANGAN MODEL PENGOLAHAN GREYWATER  
MENGUNAKAN CONSTRUCTED WETLAND MELALUI  
SIMBIOSIS MUTUALISME HYDROPHYTA DENGAN MIKORIZA**

Disusun dan Diajukan oleh

**ROSLINDA IBRAHIM**

Nomor Pokok P0800313024

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi

Pada tanggal 20 Desember 2018

dan dinyatakan telah memenuhi syarat



Menyetujui  
Komisi Penasehat,

  
Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc

Promotor



Prof. Dr. Ir. Baharuddin, Dipl Ing., Agr  
Kopromotor



Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, M.T  
Kopromotor

Ketua Program Studi  
S3 Teknik Sipil



asmita, MS., M.Eng.Sc., Ph.D

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**PENGEMBANGAN MODEL PENGOLAHAN GREYWATER  
MENGUNAKAN CONSTRUCTED WETLAND MELALUI  
SIMBIOSIS MUTUALISME HYDROPHYTA DENGAN MIKORIZA**

*GREYWATER TREATMENT DEVELOPMENT MODEL USING  
CONSTRUCTED WETLAND THROUGH MUTUALISM SYMBIOSIS  
HYDROPHYTE AND MYCORRHIZA*

**ROSLINDA IBRAHIM**



**SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2018**



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**PENGEMBANGAN MODEL PENGOLAHAN *GREYWATER*  
MENGUNAKAN *CONSTRUCTED WETLAND* MELALUI  
SIMBIOSIS MUTUALISME *HYDROPHYTA* DENGAN MIKORIZA**

Disertasi  
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi  
Teknik Sipil

Disusun dan Diajukan oleh

**ROSLINDA IBRAHIM**

Kepada

SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2018



## DISERTASI

# PENGEMBANGAN MODEL PENGOLAHAN *GREYWATER* MENGUNAKAN *CONSTRUCTED WETLAND* MELALUI SIMBIOSIS MUTUALISME *HYDROPHYTA* DENGAN MIKORIZA

Disusun dan Diajukan oleh

ROSLINDA IBRAHIM

Nomor Pokok P0800313024

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi

Pada tanggal 20 Desember 2018

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,

Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc

Promotor

Prof. Dr. Ir. Baharuddin, Dipl Ing., Agr

Kopromotor

Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, M.T

Kopromotor

Ketua Program Studi  
S3 Teknik Sipil

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, MS.,M.Eng.Sc., Ph.D

Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Roslinda Ibrahim

Nomor Mahasiswa : P0800313024

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan ini bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Desember 2018

Yang menyatakan,

Roslinda Ibrahim



## PRAKATA

### ***Bismillahirrahmanirrahim,***

Syukur Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat dan karunia yang telah diberikan. Demikian pula ucapan salam kepada Nabi Muhammad SAW atas segala ajaran dan petunjuknya dalam mengisi dan memaknai kehidupan. Disadari bahwa hanya dengan karunia dan berkah-Nya sehingga disertasi ini dapat terselesaikan.

Banyak pihak yang telah memberikan kontribusi kepada penulis selama proses penulisan disertasi ini. Penulis memberikan penghargaan yang tinggi dan ucapan terima kasih kepada Ibu **Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc.** (Promotor), Bapak **Prof. Dr. Ir. Baharuddin, Dipl-Ing., Agr.** (Kopromotor) dan Ibu **Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT.** (Kopromotor) atas nasehat, arahan dan bimbingannya selama ini. Tak lupa kepada bapak ibu dosen dan teman-teman mahasiswa Program Pascasarjana S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan motivasi dan dukungan selama ini.

Secara khusus, terima kasih dan doa untuk almarhum ayahanda tercinta **Ibrahim Husain** dan almarhumah ibunda tercinta **Hj. Haderiyah Mallawiang** agar amal ibadahnya diterima disisi Allah SWT. Terima kasih tak terhingga kepada suami **Dr. Ir. Arifuddin Akil, M.T** dan putra-putri tercinta **Fawzy Ahmaraby, Kaniya Arissya dan Agny Suhasya** atas kasih sayang, doa, pengertian dan bantuannya selama ini. Demikian pula kepada seluruh keluarga besar atas dukungan dan doanya, penulis haturkan banyak terimakasih.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini tidak luput dari kekurangan. Untuk itu, penulis terbuka untuk menerima saran ataupun kritik konstruktif dari berbagai pihak guna pengembangan keilmuan dan terciptanya lingkungan yang sehat dan nyaman. Akhir kata, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan Rahmat-Nya dan semoga disertasi ini berguna bagi kita semua, terutama bagi

penulis, Amin.

Makassar, Desember 2018

Roslinda Ibrahim



## ABSTRAK

ROSLINDA IBRAHIM. *Pengembangan Model Pengolahan Greywater Menggunakan Constructed Wetland Melalui Simbiosis Mutualisme Hydrophyta dengan Mikoriza* (dibimbing oleh Mary Selintung, Baharuddin dan Rita Tahir Lopa).

Permasalahan pengelolaan *greywater* harus ditangani secara tepat, karena dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Hal ini menjadi dasar diperlukannya penelitian untuk mengatasi permasalahan lingkungan dengan cara mengolah *greywater*. Tujuan penelitian ini adalah 1) Mengidentifikasi sistem pengelolaan dan karakteristik *greywater* di Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar, 2) Menganalisis pengaruh inokulasi mikoriza terhadap tingkat resistensi *Hydrophyta* yang terpapar kontaminan *greywater*, 3) Menganalisis pengaruh *Hydraulic Retention Time* dan simbiosis mutualisme *Hydrophyta* dengan mikoriza terhadap efisiensi penyisihan kontaminan *greywater* menggunakan sistem *constructed wetland*, dan 4) Menemukan model pengolahan *greywater* yang cocok digunakan di tingkat rumah tangga. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental skala laboratorium menggunakan pemodelan *constructed wetland*. Penelitian dilaksanakan berdasarkan Rancangan Acak Kelompok, yang terdiri dari dua variabel dan dua ulangan. Percobaan Penelitian dirancang untuk mengalirkan *greywater* ke dalam reaktor dengan beberapa variasi perlakuan, yang dilanjutkan dengan analisis parameter kualitas air. Hasil penelitian menunjukkan: 1) Sistem Pengelolaan *greywater* di Kecamatan Tamalanrea menggunakan sistem terpisah dengan *blackwater*, yaitu dilaksanakan dengan cara mengalirkan *greywater* langsung ke drainase. Kadar kontaminan *greywater* sebagian besar melampaui baku mutu yang disyaratkan, 2) Inokulasi mikoriza dapat meningkatkan resistensi *hydrophyta* terhadap paparan kontaminan *greywater*, 3) *Hydraulic Retention Time* dan simbiosis mutualisme *hydrophyta* dengan mikoriza meningkatkan efisiensi penyisihan kontaminan *greywater* dalam sistem *constructed wetland*, dan 4) Model *constructed wetland* yang memanfaatkan simbiosis mutualisme *hydrophyta* dengan mikoriza cocok untuk pengolahan *greywater* rumah tangga

Kata kunci: *constructed wetland*, simbiosis mutualisme, *greywater*, mikoriza



## ABSTRACT

**ROSLINDA IBRAHIM.** *Greywater Treatment Development Model Using Constructed Wetland Through Mutualism Symbiosis Hydrophyta and Mycorrhiza (Supervised by Mary Selintung, Baharuddin and Rita Tahir Lopa).*

*The problem of greywater management must be handled appropriately because it can cause environmental pollution. This is the basic to conduct study in overcome environmental problems by treatment greywater. The objective of this study was to, 1) Identify management systems and characteristics of greywater in Tamalanrea District Makassar City, 2) Analyze the effect of mycorrhiza inoculation on Hydrophyta resistance levels exposed to greywater contaminants, 3) Analyze the effect of Hydraulic Retention Time and mutualism symbiosis of Hydrophyta and mycorrhiza on the efficiency of greywater contaminant removal using constructed wetland systems, and 4) Find greywater treatment model that is suitable to use at the household level. This research is a laboratory-scale experimental study using constructed wetland modeling. The study was conducted based on a randomized block design, consisting of two variables and two replications. The experimental research was designed for flowing greywater into the reactor by several treatment variations, followed by water quality parameters analysis. The result showed: 1) Greywater Management System in Tamalanrea District uses a separate system with blackwater, which is carried out by flowing greywater directly into the drainage. Levels of greywater contaminants largely exceed the required quality standards, 2) Mycorrhiza inoculation can increase hydrophyta resistance to exposure to greywater contaminants, 3) Hydraulic Retention Time and mutualism symbiosis of hydrophyta and mycorrhiza increase the efficiency of greywater contaminants removal in constructed wetland systems, and 4) Constructed wetland model that utilize mutualism symbiosis of hydrophyta and mycorrhiza are suitable to greywater treatment at the household level.*

*Keyword: constructed wetland, mutualism symbiosis, greywater, mycorrhiza*



## DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRAC</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	9
D. Manfaat Penelitian	9
E. Ruang Lingkup Penelitian	10
F. Sistematika Penulisan	10
G. Kebaruan/Novelti	12
H. Penelitian Terdahulu	13
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Pencemaran Lingkungan	19
B. Sanitasi Lingkungan	20
C. Air Limbah Domestik	21
D. <i>Greywater</i>	23
E. Fitoremediasi	29
F. Tumbuhan Fitoremediator	30
G. Cendawan Mikoriza	32
H. Simbiosis Mutualisme	40
I. <i>Constructed Wetland</i>	41
J. Parameter Pengujian	51
K. Kerangka Pikir Penelitian	56
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	58
B. Rancangan Penelitian	59
C. Bahan dan Alat	61
D. Preparasi dan Sampel	61
E. Pelaksanaan Penelitian	62
F. Teknik Pengumpulan Data	68
G. Teknik Analisis	68



H. Diagram Alir Penelitian	69
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Sistem Pengelolaan dan Karakteristik Greywater di Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar	71
B. Pengaruh Inokulasi Mikoriza Terhadap Tingkat Resistensi Tanaman Air (Hydrophyta) yang Terpapar kontaminan Greywater	76
C. Pengaruh HRT dan Simbiosis Mutualime Terhadap Efisiensi Penyisihan Kontaminan Greywater Menggunakan sistem Constructed Wetland	80
D. Temuan Empirik Model <i>Constructed Wetland</i>	101
E. Implementasi Lapangan Model <i>Constructed Wetland</i>	103
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan	107
B. Saran	108
DAFTAR PUSTAKA	110
LAMPIRAN	118



## DAFTAR GAMBAR

nomor		Halaman
1.	Tanaman Kana ( <i>Canna indica</i> L.)	30
2.	Tanaman Iris ( <i>Iris pseudocorus</i> )	30
3.	Tanaman Sirih Gading ( <i>Epipremnum aereum</i> )	31
4.	Pupuk Hayati Mikoriza	34
5.	Rawa Buatan Beraliran Permukaan ( <i>surface flow/SF</i> )	45
6.	Rawa Buatan Beraliran Permukaan Secara Vertikal Menurun ( <i>Surface flow/SF</i> )	46
7.	Rawa Buatan Beraliran Permukaan Secara Vertikal Menanjak ( <i>Surface flow/SF</i> )	47
8.	Rawa Buatan Beraliran Bawah Permukaan Secara Horizontal ( <i>Sub-Surface Flow/SSF</i> )	48
9.	Rawa Buatan Aerobik ( <i>Surface flow/SF</i> )	48
10.	Rawa Buatan Anaerobik ( <i>Surface flow/SF</i> )	49
11.	Rawa Buatan Tanaman Terendam ( <i>Submerged</i> )	50
12.	Kerangka Pikir penelitian	57
13.	Peta Administrasi Kecamatan Tamalanrea	58
14.	Variasi Perlakuan Konsentrasi Mikoriza	63
15.	Tampak Potongan Reaktor Percobaan 1	64
16.	Denah Percobaan Penelitian 1	65
17.	Tampak Potongan Reaktor Percobaan 2	66
18.	Denah Percobaan Penelitian 2	67
19.	Diagram Alir Penelitian	69
20.	Penggunaan Air Bersih di Kecamatan Tamalanrea	72
	Penggunaan <i>Greywater</i> di Kecamatan Tamalanrea	73
	Pengaruh Tanaman Sirih Gading Pada Beberapa Variasi Perlakuan	79
	Pengaruh Efluen <i>Greywater</i> Pada Beberapa Variasi Perlakuan	84



24.	Kadar BOD <sub>5</sub> Efluen <i>Greywater</i> dengan Variasi Perlakuan	88
25.	Kadar COD Efluen <i>Greywater</i> Pada Beberapa Variasi Perlakuan	91
26.	Kadar TSS Efluen <i>Greywater</i> Pada Beberapa Variasi Perlakuan	94
27.	Kadar Total Phosphorus Efluen <i>Greywater</i> Pada Beberapa Variasi Perlakuan	98
28.	Kadar Total Nitrogen Efluen <i>Greywater</i> Pada Beberapa Variasi Perlakuan	100
29.	Denah dan Potongan Sistem Pengelolaan <i>Greywater</i>	106



**DAFTAR TABEL**

nomor		Halaman
1.	Penelitian Terdahulu	15
2.	Jenis Kegiatan, Kebutuhan Air Bersih dan Timbulan <i>Greywater</i>	27
3.	Kualitas <i>Greywater</i> dari Berbagai Kegiatan di Rumah Tangga	28
4.	Klasifikasi Tingkat Pencemaran Air Limbah Domestik	29
5.	Variasi Perlakuan Pada Percobaan 1	60
6.	Variasi Perlakuan Pada percobaan 2	60
7.	Hasil Analisis <i>Greywater</i> dari Kecamatan Tamalanrea	75
8.	Rerata Bobot Basah dan Bobot kering Tanaman	78
9.	Hubungan HRT dengan Efisiensi Penyisihan Kontaminan <i>Greywater</i>	81
10.	Rerata Derajat Keasaman / pH	83
11.	Rerata Kadar BOD <sub>5</sub> <i>Greywater</i>	86
12.	Rerata Kadar COD <i>Greywater</i>	89
13.	Rerata Kadar TSS <i>Greywater</i>	92
14.	Rerata Total Phosphorus <i>Greywater</i>	96
15.	Rerata Total Nitrogen <i>Greywater</i>	99



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Sanitasi merupakan salah satu pelayanan dasar yang perlu mendapatkan perhatian dan menjadi prioritas pembangunan. Permasalahan sanitasi lingkungan, khususnya pengelolaan air buangan harus ditangani secara tepat, karena berdampak pada kualitas lingkungan. Menurut Ismuyanto (2010)[26], 60% - 70% pencemaran air sungai berasal dari limbah domestik. Air buangan yang dibuang tanpa melalui pengolahan akan mengakibatkan terjadinya pencemaran pada sumber-sumber air baku air bersih/minum. Air buangan yang berasal dari rumah tangga atau permukiman penduduk disebut air limbah domestik (*domestic wastewater*) terdiri dari air bekas mandi, bekas cuci pakaian, dan bekas cucian dapur (*greywater*) serta kotoran manusia (*blackwater*).

Penanganan *greywater* di Indonesia pada umumnya langsung dibuang ke saluran drainase tanpa pengolahan. *Greywater* yang masuk ke lingkungan perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu berpotensi meningkatkan COD dan BOD, yang mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut (DO). Menurunnya kandungan DO di perairan mempengaruhi an ikan dan biota air lainnya. Selain itu, masuknya air limbah



domestik ke perairan juga dapat menimbulkan bau yang tidak sedap dan resiko terjadinya *eutrofikasi* (Eiger dan Smith, 2002)[16].

Pengolahan tepat terhadap *greywater*, selain dapat mengurangi pencemaran lingkungan juga dapat meningkatkan ketersediaan air bersih. *Greywater* memiliki potensi besar sebagai sumber air alternatif untuk keperluan seperti irigasi, pembilasan toilet, cuci mobil dan menyiram halaman serta untuk mengisi ulang akuifer (Rana dkk., 2014)[60]. Potensi *greywater* sebagai sumber air alternatif didasari karena volume *greywater* relatif besar dan mengandung bakteri patogen yang lebih sedikit dibandingkan dengan *blackwater*. Selain itu, *greywater* terdekomposisi lebih cepat daripada *blackwater* (Lindstrom, 2000)[35]. Sekitar 60-85% dari total volume kebutuhan air bersih akan menjadi limbah cair domestik (Metcalf dan Eddy, 2004)[41]. Bagian dari *greywater* adalah sekitar 75% dari total volume limbah cair domestik (Eriksson dkk., 2001)[17].

Penyebarnya penggunaan *greywater* belum banyak diketahui dan diminati oleh masyarakat. Hal ini disebabkan karena sulitnya pemilihan sistem pengolahan *greywater* yang cocok untuk tingkat rumah tangga dan kurangnya pengetahuan dan pengalaman dalam permasalahan ini, terutama pada negara-negara berkembang (Pathan, 2013)[55]. Pengolahan *greywater* yang cocok di tingkat rumah tangga adalah pengolahan yang mudah/praktis dan ekonomis, mengingat bahwa

pengolahan adalah masyarakat awam yang memiliki keterbatasan pengetahuan mengenai sanitasi lingkungan.



Pengolahan *greywater* dapat dilakukan secara fisik, kimia atau biologi. Pengolahan fisik biasanya dilakukan dengan metode filtrasi, secara kimia dengan cara penambahan bahan kimia dan secara biologi menggunakan tanaman atau mikroorganisme. Kekurangan dari metode filtrasi adalah tidak mampu menyaring kontaminan terlarut dalam air. Unsur nitrat dan fosfat merupakan unsur terlarut air yang banyak terdapat dalam *greywater*. Selain itu, unsur logam berat kemungkinan juga terdapat dalam *greywater* dan beberapa diantaranya merupakan unsur larut air. Menurut Roseen dkk., (2006)[66], penyisihan nitrat biasanya hanya terjadi dengan filtrasi bervegetasi.

Kendala dalam penerapan metode kimia adalah perbandingan konsentrasi bahan kimia dengan volume air yang akan diolah yang biasanya tidak diketahui oleh masyarakat awam. Demikian halnya juga dengan pengolahan biologi yang juga memiliki kekurangan yakni keterbatasan kemampuan tumbuhan/mikroorganisme mengolah air dengan kadar pencemar yang tinggi. Namun, Pengolahan secara biologi menggunakan tumbuhan maupun mikroorganisme untuk mengolah air, banyak diminati belakangan ini karena memiliki beberapa keunggulan yaitu ramah lingkungan, biaya relatif murah dan bersifat fleksibel (Nzengung dan O'Niell, 2004)[54].

Metode fitoremediasi dalam *constructed wetland* merupakan pilihan

yang memenuhi kriteria mudah dan ekonomis. Metode ini  
akan teknologi pengolahan air limbah yang sangat mudah



desainnya, murah pembiayaannya, serta dalam pengoperasiannya tidak memerlukan tenaga ahli, tetapi memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menurunkan kadar kontaminan.

Proses pengolahan air limbah menggunakan *constructed wetland* membutuhkan waktu tinggal air limbah dalam reaktor atau waktu kontak air limbah dengan komponen dalam *wetland* yang dikenal dengan istilah *Hydraulic Retention Time* (HRT) selama 1 – 7 hari untuk menyisihkan kontaminan *greywater* secara maksimal. HRT sangat berpengaruh pada dimensi bak penampungan dan bak pengolahan (*constructed wetland*). Semakin lama HRT, semakin besar dimensi bangunan dan semakin banyak biaya yang dibutuhkan. Oleh karena itu, perlu mencari solusi untuk meminimalkan HRT sehingga biaya yang digunakan relatif kecil.

Upaya untuk mencapai hal tersebut dapat dilakukan dengan mempercepat proses pengolahan, yaitu dengan cara mengoptimalkan semua komponen yang terkait dengan kinerja dari sistem *wetland* mulai dari awal hingga akhir proses. Dalam hal ini, pada tahap awal proses dapat diefektifkan dengan penggunaan filter sebagai *pre-treatment*. Tahap selanjutnya adalah pengolahan secara biologi menggunakan metode fitoremediasi menggunakan tanaman yang memiliki kemampuan untuk menyisihkan kontaminan *greywater*.

Penerapan metode fitoremediasi harus disertai pemeliharaan

secara memadai untuk keberlanjutan penggunaannya. Menurut Edihardjo dan Samudro (2010)[38], tanaman yang digunakan



dalam metode fitoremediasi dapat mengalami gangguan pertumbuhan yang disebabkan oleh kontaminan dalam air limbah. Tumbuhan biasanya mengalami keguguran pada beberapa bagian daunnya. Oleh karena itu, pemupukan penting dilakukan untuk mempertahankan pertumbuhan tanaman sehingga masa penggunaannya menjadi panjang.

Penggunaan pupuk hayati merupakan alternatif pupuk yang dapat digunakan untuk mendukung pertumbuhan tanaman, salah satunya adalah pupuk hayati mikoriza. Pupuk ini mengandung cendawan mikoriza yang berfungsi meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap air dan unsur hara, khususnya unsur fosfat. Selain itu, mikoriza juga dapat meningkatkan serapan nitrogen dan kalium (Kabirun, 2002; Hasanuddin, 2003; dan Musfal, 2008)[27;24;49] serta meningkatkan serapan unsur Cu dan Zn pada tanaman kacang-kacangan (Tarafdar dan Rao, 1997)[80].

Peran mikoriza tidak terbatas hanya sebagai biofertiliser, namun berperan pula sebagai bioprotektor terhadap mikroorganisme patogen dan bioremediator bagi tanah yang tercemar. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa cendawan mikoriza memiliki kemampuan untuk menyisihkan kontaminan tanah, termasuk residu pestisida dan logam berat. Penggunaan tanaman hiperakumulator dan mikoriza dapat meningkatkan potensi proses bioremediasi (fitoekstraksi) lahan tercemar logam berat (Adholeya dan Gaur, 2004)[1]. Dalam penelitiannya, Wang

(2007)[89] menemukan bahwa kadar Cu, Zn, Pb dan Cd pada tajuk



serta serapan logam tersebut pada akar dan tajuk tanaman jagung meningkat dengan adanya inokulasi mikoriza.

Cendawan mikoriza dapat bersimbiosis dengan sebagian besar (97%) famili tanaman. Simbiosis mutualisme yang terjadi berupa tersedianya unsur hara bagi tumbuhan oleh mikoriza sedangkan tumbuhan memberikan energi hasil fotosintesis untuk kelangsungan hidup mikoriza. Hubungan ini dapat dimanfaatkan dalam proses pengolahan air limbah karena kedua makhluk hidup saling mendukung untuk kelangsungan hidupnya. Selain itu tanaman dan mikoriza juga dapat bekerja bersama-sama sebagai *biofilter* yang berfungsi untuk mengolah air sehingga proses pengolahan berjalan cepat dan menghasilkan efluen dengan kualitas yang lebih baik.

Berdasarkan uraian tersebut diatas maka diperlukan suatu rancangan sistem pengolahan *greywater* berbasis penelitian. Beberapa hal yang perlu dikaji secara khusus antara lain adalah tipe *wetland* dan jenis tanaman yang memiliki kemampuan mereduksi kontaminan *greywater*. Disamping itu, kajian mengenai pengaruh simbiosis mutualisme tanaman dengan mikoriza dianggap perlu untuk mengefektifkan kinerja *wetland*. Dengan simbiosis tersebut diharapkan kualitas hasil olahan *greywater* lebih baik, mengurangi HRT dan dapat memperpanjang umur penggunaan tanaman. Terpenuhinya ketiga hal

akan membantu dalam upaya mengatasi permasalahan lingkungan, meningkatkan ketersediaan air, dan mengurangi lahan dan biaya yang dibutuhkan untuk membangun suatu



*constucted wetland*. Selain itu, dapat pula meningkatkan nilai estetika dan menambah luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) skala mikro sehingga kebutuhan luasan RTH dalam suatu wilayah perkotaan dapat mencukupi sesuai dengan UU No. 26 tahun 2007 [13].

## B. Perumusan Masalah

Permasalahan lingkungan seperti sampah, air limbah dan ketersediaan air bersih merupakan permasalahan umum yang terjadi di berbagai tempat, termasuk di Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar. Dari ketiga permasalahan lingkungan tersebut, permasalahan air limbah yang belum banyak mendapatkan perhatian, baik dari masyarakat maupun pemerintah.

Pada umumnya air limbah domestik khususnya *greywater* yang dihasilkan dari permukiman masyarakat belum terolah karena pertimbangan biaya dan kurangnya pengetahuan serta pengalaman masyarakat dalam permasalahan ini. Selain itu, sebagian besar masyarakat beranggapan bahwa pembuangan *greywater* secara langsung tidak menimbulkan permasalahan lingkungan.

Penelitian-penelitian mengenai berbagai metode pengolahan *greywater* telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, termasuk beberapa diantaranya membahas mengenai pengolahan *greywater* secara

menggunakan metode fitoremediasi. Namun, penelitian mengenai an *greywater* di tingkat rumah tangga dan pembahasan secara



husus mengenai simbiosis mutualisme tanaman dengan mikroorganisme dalam upaya pengelolaan lingkungan belum banyak dibahas.

Perencanaan penelitian ini diarahkan untuk mengkaji suatu pengembangan model pengolahan *greywater* yang dapat diterapkan di tingkat rumah tangga menggunakan sistem pengolahan *constructed wetland*. Penelitian ini mengkaji pengaruh simbiosis mutualisme tanaman air (*hydrophyta*) dengan mikoriza terhadap efisiensi penyisihan kontaminan dalam *greywater* dengan waktu tinggal air dalam reaktor/*Hydraulic Retention Time* (HRT) yang relatif singkat.

Tahap awal penelitian diarahkan untuk mengkaji tentang karakteristik dan sistem pengelolaan *greywater* yang dipahami dan diterapkan oleh masyarakat di permukiman perkotaan saat ini melalui kasus buangan rumah tangga dari permukiman masyarakat di Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar. Hasil yang diperoleh selanjutnya menjadi dasar diperlukannya suatu tindakan pengolahan dan penentuan penggunaan metode pengolahan yang tepat. Berdasarkan hal tersebut, maka rumusan masalah penelitian ini dibuat dalam bentuk pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem pengelolaan dan karakteristik *greywater* di Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar
2. Bagaimana pengaruh inokulasi mikoriza terhadap tingkat resistensi *Hydrophyta* yang terpapar kontaminan *greywater*



mana pengaruh HRT dan simbiosis mutualisme *Hydrophyta* dan cendawan mikoriza terhadap efisiensi penyisihan kontaminan *greywater* menggunakan sistem *constructed wetland*

4. Seperti apa model pengolahan *greywater* yang cocok digunakan di tingkat rumah tangga

### C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada permasalahan di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi sistem pengelolaan dan karakteristik *greywater* di lingkungan permukiman Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar
2. Menganalisis pengaruh inokulasi mikoriza terhadap tingkat resistensi *Hydrophyta* yang terpapar kontaminan *greywater*
3. Menganalisis pengaruh HRT dan simbiosis mutualisme *Hydrophyta* dengan cendawan mikoriza terhadap efisiensi penyisihan kontaminan *greywater* menggunakan sistem *constructed wetland*
4. Menemukan model pengolahan *greywater* yang cocok digunakan di tingkat rumah tangga.

### D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu rekayasa lingkungan, khususnya dalam bidang keilmuan sanitasi lingkungan fitoteknologi.



2. Memberikan pendalaman terhadap materi pengajaran sanitasi lingkungan dan menjadi sumber informasi/referensi bagi peneliti selanjutnya.
3. Memberikan masukan bagi pemerintah dalam menentukan kebijakan perencanaan, pembangunan dan pengawasan terkait dengan bangunan infrastruktur sanitasi lingkungan.
4. Penerapan hasil penelitian ini berimplikasi pada penurunan pencemaran lingkungan, peningkatan ketersediaan air dan peningkatan luasan RTH skala mikro.

### **E. Ruang Lingkup Penelitian**

Kajian penelitian ini difokuskan untuk membahas pengaruh simbiosis mutualisme tanaman dan cendawan mikoriza terhadap efisiensi penyisihan kontaminan *greywater*. Penelitian dilakukan dengan cara eksperimen skala laboratorium dengan memberikan beberapa kombinasi perlakuan. Sampel *greywater* ditentukan pada skala kawasan permukiman khususnya di Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar Sulawesi Selatan yang merupakan salah satu wilayah di Kota Makassar yang mengalami kekurangan air bersih pada musim kemarau.

### **F. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan merupakan penjabaran secara deskriptif dari hal-hal yang akan ditulis. Sistematika penulisan dalam disertasi



ini akan memberikan gambaran secara singkat terhadap kegiatan penelitian dan penyusunan disertasi.

### **1. Bab I Pendahuluan**

Bagian ini merupakan pengantar yang mengemukakan latar belakang yang memaparkan informasi tentang materi keseluruhan dari penelitian yang ditulis secara sistematis dan terarah. Latar belakang mengemukakan dengan jelas argumentasi tentang pentingnya melakukan penelitian, kejelasan masalah yang akan diteliti, keberadaan masalah hingga saat ini dan memberikan solusi penyelesaian masalah.

### **2. Bab II Tinjauan Pustaka**

Bagian ini merupakan uraian teori, temuan dan bahan penelitian yang diperoleh dari acuan untuk selanjutnya dijadikan landasan untuk melakukan penelitian. Selain itu, dipaparkan juga kerangka pikir penelitian dalam bentuk bagan. Kerangka pikir penelitian merupakan model konseptual tentang bagaimana teori berhubungan dengan berbagai faktor yang telah diidentifikasi sebagai masalah penting.

### **3. Bab III Metode Penelitian**

Bagian ini menguraikan tentang hal-hal yang terkait dengan pelaksanaan penelitian dan lebih terkhusus pada pelaksanaan percobaan penelitian dalam penelitian kuantitatif. Bagian ini terdiri dari penjelasan mengenai desain penelitian, jenis data, teknik pengambilan analisis data, diagram alir penelitian, variabel penelitian dan lain-lain.



#### 4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menguraikan data hasil penelitian yang merujuk pada rumusan masalah dan tujuan penelitian. Data hasil penelitian berupa data primer dan hasil analisis yang dilanjutkan dengan pembahasan yang mengandung jawaban akan setiap masalah penelitian atau menunjukkan bagaimana tujuan dicapai dan menafsirkan segala temuan penelitian.

#### 5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Bagian ini berisi simpulan yang terkait langsung dengan penelitian yang dapat ditarik dari pembahasan yang relevan dan merangkum semua hasil penelitian yang telah diuraikan. Selain simpulan, bagian ini berisi saran yang bersumber pada temuan penelitian, pembahasan dan simpulan hasil penelitian. saran dapat ditujukan kepada perguruan tinggi, lembaga pemerintah atau swasta, atau pihak lain yang dianggap layak.

#### 6. Daftar Pustaka dan Lampiran

Bagian akhir laporan penelitian adalah daftar pustaka dan lampiran. Daftar pustaka memuat semua bahan bacaan yang dirujuk dalam penulisan laporan penelitian dan hanya mencantumkan pustaka yang dirujuk. Sedangkan lampiran berisi keterangan yang dipandang penting seperti rumus statistika, data dan foto-foto dalam pelaksanaan penelitian.

#### G. Kebaruan/Novelti

Penelitian mengenai pengolahan *greywater* dengan metode diasi menggunakan teknologi *constructed wetland* telah banyak n oleh beberapa peneliti sebelumnya. Secara umum metode yang



telah dilakukan masih sebatas pada penerapan media filter (seperti kerikil, pasir, tanah dan ijuk) serta penggunaan tanaman air sebagai media absorpsi dan adsorpsi. Pengolahan yang dilakukan selama ini pada umumnya hanya melakukan proses pengolahan tanpa menerapkan upaya untuk meningkatkan pertumbuhan dan pemeliharaan tanaman. Di samping itu selama ini juga belum mengkaji secara khusus peranan simbiosis mutualisme tanaman dengan mikroorganisme dalam proses pengolahan air. Kebaruan/novelti penelitian ini yang tidak dimiliki penelitian lain adalah adanya penambahan biofertilizer berupa cendawan mikoriza ke dalam *constructed wetland*, sebagai suatu kesatuan dalam sistem yang menghasilkan hubungan simbiosis mutualisme dengan *hydrophyta*. Simbiosis mutualisme ini berfungsi dalam meningkatkan resistensi tanaman sehingga umur penggunaan tanaman menjadi relatif panjang. Di samping itu, dapat pula meningkatkan efisiensi penyisihan kontaminan dalam *greywater* sehingga proses pengolahan dapat berjalan relatif singkat dan kualitas hasil olahan *greywater* menjadi lebih baik.

## H. Penelitian Terdahulu yang Relevan

Untuk mencapai orijinalitas dalam rangka mengisi celah ilmu pengetahuan, maka dipandang perlu untuk mereview beberapa penelitian terdahulu yang relevan terutama yang berkaitan dengan tema pengolahan

er dengan metode fitoremediasi dalam *constructed wetland*.

ini akan diungkapkan beberapa penelitian lain yang dianggap

engan penelitian ini (Tabel 1):



Tabel 1. Penelitian Terdahulu

NO	NAMA PENULIS	JUDUL	POKOK PERSOALAN	OUT PUT	OUT COME	PERSAMAAN	PERBEDAAN
1	1. Teck-Yee Ling 2. Kasing Apun 3. Siti-Rubiah Zainuddin  (2009)	Performance of a Pilot-Scale Biofilters and Constructed Wetland with Ornamental Plants in Greywater Treatment	Artikel ini membahas mengenai penanganan air limbah di Ghana yang merupakan permasalahan besar disebabkan karena kurangnya fasilitas pengolahan air limbah sehingga hampir semua air limbah di daerah LA sub Metro dibuang ke Lagoon Kpeshie tanpa pengolahan terlebih dahulu	Data mengenai kemampuan Lagoon Kpeshie untuk mengolah <i>greywater</i> . Efisiensi removal tinggi untuk nitrat, warna, BOD dan kekeruhan.	Tumbuhnya kesadaran masyarakat untuk memelihara Lagoon Kpeshie yang merupakan fasilitas pengolahan air limbah yang dapat memberikan manfaat bagi kesehatan masyarakat.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan sistem CW untuk mengolah <i>greywater</i></li> <li>▪ Uji lab. untuk mengetahui karakteristik <i>greywater</i> yang dijadikan sampel penelitian</li> <li>▪ Menggunakan tanaman hias</li> </ul>	<p><b>1.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan Sistem CW jenis FWS/SF beraliran horizontal</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> </ul> <p><b>2.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan Sistem CW jenis SF beraliran vertikal</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> </ul>
2	1. M.G.Pathan 2. V. Pathan  (2013)	A Guide to Water Concervation and its Need Present Scenario	Artikel ini membahas mengenai konservasi air dengan cara mengurangi konsumsi dan penggunaan air alternatif, salah satunya air hasil olahan <i>greywater</i> .	Penggunaan sistem CW untuk mengolah <i>greywater</i> sangat berguna untuk penghilangan padatan tersuspensi dan menurunkan nilai BOD dan COD	Upaya konservasi air dengan mendaur ulang <i>greywater</i> menggunakan sistem CW dapat membantu isi ulang air tanah dan dapat digunakan untuk keperluan: irigasi, berkebun, pembilasan /flushing, Mencuci, bersih jalan dan pembangunan konstruksi.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan sistem CW untuk mengolah <i>greywater</i></li> <li>▪ Bertujuan untuk meyisihkan unsur nitrat dan phosphate dalam <i>greywater</i></li> </ul>	<p><b>1.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan dua sistem CW secara berlanjut yaitu SF dan SSF</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> <li>▪ Jenis tanaman: Lily air dan Typha Latifolia</li> </ul> <p><b>2.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Satu jenis sistem CW: SF saja</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> </ul>



							<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Jenis tanaman: Canna, Iris dan Sirih gading</li> </ul>
3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A.A. Wurochekke</li> <li>2. N.A. Harun</li> <li>3. R. M. Saphira</li> <li>4. A.Hashi</li> </ol> <p>(2014)</p>	Constructed Wetland of <i>Lepironia Articulata</i> for Household Greywater Treatment	Artikel ini membahas mengenai pengolahan <i>greywater</i> menggunakan CW yang dibangun di permukiman desa	Model pengolahan <i>greywater</i> menggunakan CW dengan tanaman <i>Lepironia Articulata</i> menunjukkan efisiensi penyisihan yang lebih tinggi dibanding CW tanpa tanaman yakni sebesar 81,42% BOD, 84,57% COD, 39,83% AN, 54,70% SS, dan kekeruhan 45,01%.	Model yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengolah air pada suatu wilayah pedesaan sehingga kebutuhan air untuk masyarakat setempat dapat terpenuhi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan sistem CW untuk mengolah <i>greywater</i></li> <li>▪ Pengujian parameter yang sama: BOD dan COD</li> </ul>	<p><b>3.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan Sistem CW jenis FWS/SF beraliran horizontal</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> <li>▪ Jenis tanaman: <i>Lepironia Articulata</i></li> </ul> <p><b>4.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan Sistem CW jenis SF beraliran vertikal</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> <li>▪ Jenis tanaman: Canna, Iris dan Sirih gading</li> </ul>
4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O.S. Oladejo</li> <li>2. O. M. Ojo</li> <li>3. O. I. Akinpelu</li> <li>4. O. A. Adeyemo</li> <li>5. A M. Adekunle</li> </ol> <p>(2015)</p>	Wastewater Treatment Using Constructed Wetland With Water Lettuce ( <i>Pistia Stratiotes</i> )	Artikel ini membahas mengenai pengolahan <i>greywater</i> khususnya buangan dapur dan restoran kampus menggunakan CW degan selada air	Penggunaan CW dengan tanaman selada air <i>greywater</i> efektif dalam mengurangi kandungan bahan organik dan anorganik dalam <i>greywater</i> .	Model prototipe direkomendasikan untuk penggunaan in-situ, terutama untuk air limbah dari dapur karena sangat membantu mengurangi konsentrasi kontaminan <i>greywater</i> sebelum dibuang ke badan air dan juga mengurangi resiko kontaminasi air tanah .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan sistem CW untuk mengolah <i>greywater</i></li> <li>▪ Pengujian parameter yang sama: pH, BOD dan nitrat</li> </ul>	<p><b>1.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistem CW jenis SF beraliran horizontal</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> <li>▪ Jenis tanaman: <i>Pistia stratiotes</i></li> <li>▪ Khusus untuk <i>greywater</i> dari dapur</li> </ul> <p><b>2.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistem CW jenis SF beraliran horizontal</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> <li>▪ Jenis tanaman: canna, Iris dan Sirih gading</li> <li>▪ Diperuntukkan bagi campuran</li> </ul>



							greywater dari berbagai sumber
5	1.Raude, J.M 2.Mutua, B.M 3.Kamau D.N.  (2012)	Design of Pilot Scale Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland System Treating Greywater	Artikel ini membahas mengenai rancangan dan evaluasi kinerja CW SSF tipe aliran bawah tanah horisontal yang dibangun untuk mengolah <i>greywater</i> untuk memenuhi standar pengendalian kualitas air yang memenuhi prinsip-prinsip sanitasi yang berkelanjutan	Sistem CW ini memiliki efisiensi penyisihan yang sangat baik untuk BOD <sub>5</sub> yakni sekitar 97,3% sehingga tidak akan berdampak signifikan pada aliran penerima	Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai dasar atau acuan penentuan pengelolaan <i>greywater</i> untuk daerah perkotaan dan pinggiran kota. Selain itu, dapat mendukung perumusan tindakan pengendalian di sumber dan merancang sistem perawatan yang tepat untuk penggunaan kembali atau pembuangan yang aman	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan sistem CW untuk mengolah <i>greywater</i></li> </ul>	<p><b>1.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan CW Tipe SSF</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> <li>▪ Jenis tanaman: rumput vetiver</li> </ul> <p><b>2.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan CW Tipe SF</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> <li>▪ Jenis tanaman: canna, Iris dan Sirih gading</li> </ul>
6	1. Borkar.R.P 2. Mahatme. P.S.  (2010)	Wastewater Treatment with Vertical Flow Constructed Wetland	Artikel ini membahas mengenai karakteristik air limbah domestik di Amba Nala menggunakan CW tanpa tanaman dan menggunakan tanaman Typha Orientalis	Penggunaan tanah hitam sebagai media pada CW memperlihatkan efisiensi penyisihan lebih tinggi dibanding tanah berpasir. Demikian halnya juga untuk penggunaan tanaman lebih baik dari pada CW tanpa tanaman. Efisiensi penyisihan BOD dan COD tertinggi oleh CW dengan tanah hitam dan Typha Orientalis	Hasil olahan <i>greywater</i> dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air non minum untuk rumah tangga.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan sistem CW dalam mengolah air limbah</li> <li>▪ Karakteristik sampel air limbah yang digunakan termasuk dalam kategori sedang</li> </ul>	<p><b>1.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan CW Tipe SF beraliran vertical menurun</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> <li>▪ Jenis tanaman: Typha Orientalis</li> <li>▪ Variasi HRT:3,5,7 dan 9 hari</li> </ul> <p><b>2.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan CW Tipe SF beraliran vertical menanjak</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> <li>▪ Jenis tanaman: canna, Iris dan Sirih gading</li> <li>▪ Variasi HRT: 1 dan 2 hari</li> </ul>



				dengan nilai masing-masing 86% dan 63%			
7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A.A. Wurochekke</li> <li>2. R.M.S.R. Mohamed</li> <li>3. S.A.L.Halim</li> <li>4. A.H.M.Kassim</li> <li>5. R.Hamdan</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b>(2015)</b></p>	Sustainable Extensive On-Site Constructed Wetland for Some Bacteriological Reduction in Kitchen Greywater	Artikel ini membahas mengenai pengolahan <i>greywater</i> , khususnya buangan dapur menggunakan CW dengan tanaman <i>Lepironia Articulata</i>	Total padatan tersuspensi (60,56%), E.coli (51%) dan Total Coliform (63%) dapat dikurangi menggunakan sistem CW dengan tipe aliran horizontal.	Sistem CW dapat digunakan untuk mengurangi kontaminan terutama patogen dan mikroorganisme lain dalam <i>greywater</i> dapur sehingga mengurangi pencemaran saluran mengurangi risiko infeksi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menggunakan sistem CW</li> <li>2. Model CW dirancang untuk tingkat rumah tangga</li> </ol>	<p><b>1.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan CW Tipe SSF</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> <li>▪ Jenis tanaman: <i>Lepironia Articulata</i></li> <li>▪ Tidak menggunakan tanah sebagai media tumbuh</li> <li>▪ Terdiri dari 3 kompartemen: bak pengumpul, bak pre-treatment dan CW</li> </ul> <p><b>2.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan CW Tipe SF</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> <li>▪ Jenis tanaman: canna, Iris dan Sirih gading</li> <li>▪ Menggunakan tanah sebagai media tumbuh</li> <li>▪ Terdiri dari 2 kompartemen: bak pengumpul dan CW</li> </ul>
8	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. E.C.J.Lopez</li> <li>2. G. L.Ocana</li> <li>3. R.G. B.Margulis</li> <li>4. M.C.Estrada</li> <li>5. A. G.ena</li> <li>6. J.R. H.Barajas</li> <li>7. C.A. T.Balcazar</li> <li>8. F. De La Cruz-</li> </ol> <p>erino s-Silvan</p>	Wastewater Treatmen By Constructed Wetlands with Thalia Geniculata and Paspalum paniculatum a Topical System of Mexico	Artikel ini membahas tentang pengolahan air limbah domestic menggunakan sistem CW /Free Water Surface dengan tipe aliran bawah permukaan horizontal	Efisiensi penyisihan BOD, COD TSS TN dan TP menggunakan sistem CW cukup tinggi yakni berada dalam kisaran 79% - 94%.	Sistem CW dapat digunakan untuk mengolah air limbah domestik di daerah tropis mexico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan sistem CW untuk mengolah air limbah</li> <li>▪ Analisis parameter kualitas air yang sama yakni BOD, COD, TSS, TN dan TP</li> </ul>	<p><b>1.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan CW Tipe SSF</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> <li>▪ Jenis tanaman asli mexico : Paspalum paniculatum dan Thalia geniculata</li> </ul> <p><b>2.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan CW Tipe SF</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> </ul>



	(2017)						<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Jenis tanaman: Canna, Iris dan Sirih gading</li> </ul>
9	<p>1. D.P.Asirvadam 2. K.D.Bharathi 3. P.Durairaj 4. M.Kaleeswara 5. S. Abinaya</p> <p>(2017)</p>	Treatmen of Greywater Using Constructed Wetland System	Artikel ini membahas mengenai pengolahan <i>greywater</i> menggunakan CW dengan tanaman <i>Canna Indica</i> untuk mengurangi kontaminan <i>greywater</i>	Percobaan ini membuktikan bahwa CW adalah metode pengolahan <i>greywater</i> yang efektif, efisien dan ekonomis. Memiliki kemampuan yang tinggi untuk menyisihkan kontaminan <i>greywater</i>	Air hasil olahan <i>greywater</i> memiliki kualitas yang baik daripada influen yang tercemar sehingga dapat digunakan untuk keperluan domestik seperti irigasi seperti menyiram tanaman dan rumput. Selain itu, dapat meningkatkan estetika lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan CW Tipe SF vertikal menanjak</li> <li>▪ Menggunakan tanaman <i>Canna</i></li> </ul>	<p><b>1.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Susunan media dari dasar reaktor: kerikil, arang, pasir dan tanah</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> <li>▪ 1 jenis tanaman saja</li> </ul> <p><b>2.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Susunan media dari dasar reaktor: kerikil, ijuk, pasir campur tanah</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> <li>▪ Terdiri dari 3 tanaman: canna, Iris dan Sirih gading</li> </ul>
10	<p>1. G.Divyabharathi 2. S.Vaishnavi 3. B.Thanisha 4. A.Varsha 5. K.S.Jinesh Babu</p> <p>(2018)</p>	Experimental Analysis on Greywater Treatment System	Artikel ini membahas mengenai penelitian yang bertujuan untuk menemukan metode pengolahan <i>greywater</i> untuk keperluan irigasi dengan cara membandingkan kinerja CW dan filter pasir	Pengolahan <i>greywater</i> menggunakan CW dengan tanaman <i>canna</i> memiliki efisiensi lebih tinggi dalam menghilangkan BOD, TS, kekerasan dan konduktivitas dibandingkan CW dengan tanaman rumput ( <i>reed grasses</i> ) dan filter pasir	Sistem CW efektif digunakan untuk pengolahan <i>greywater</i> dengan biaya relative murah dan mudah dioperasikan. Sistem ini dapat digunakan dalam skala kecil seperti rumah, hotel, kantor, dll	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan sistem CW dan tanaman <i>Canna</i></li> <li>▪ Membandingkan kinerja metode fitoremediasi dalam sistem CW dengan metode filtrasi</li> </ul>	<p><b>1.Artikel Jurnal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan 2 sistem CW, beraliran horizontal dan vertical</li> <li>▪ Tidak ada perlakuan inokulasi mikroba</li> <li>▪ Jenis tanaman: canna dan rumput (reed)</li> </ul> <p><b>2.Penelitian ini:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menggunakan 1 sistem CW sj, beraliran vertical</li> <li>▪ Perlakuan inokulasi mikroba (mikoriza)</li> <li>▪ Jenis tanaman: canna, Iris dan Sirih gading</li> </ul>



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Pencemaran Lingkungan

Perkembangan dan pembangunan perkotaan menyebabkan munculnya teknologi canggih yang mendukung kehidupan manusia, tetapi disisi lain menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan yaitu terjadinya pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah yang dihasilkan dari suatu kegiatan. Pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan, atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Dalam Undang - Undang No 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada Pasal 1 angka 14 yang merumuskan pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan [14].

Limbah berpotensi besar dalam pencemaran lingkungan karena menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan hidup serta merusak ekosistem

Dampak negatif dari menurunnya kualitas lingkungan hidup, baik adanya pencemaran atau rusaknya sumber daya alam adalah bermacam atau dampak negatif terhadap kesehatan, menurunnya nilai



estetika, kerugian ekonomi dan terganggunya sistem alami (*natural system*). Dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat akan dirasakan dalam kurun waktu jangka panjang. Dengan tercemarnya lingkungan hidup, nilai estetika dari lingkungan tersebut akan menurun, lingkungan yang tercemar tersebut akan terlihat kumuh dan tidak dapat digunakan untuk kepentingan sehari-hari. Tercemarnya lingkungan juga akan mengganggu sistem alami dari lingkungan tersebut, komponen yang terdapat pada lingkungan tersebut menjadi rusak.

Pencemaran lingkungan perlu mendapat penanganan secara serius oleh semua pihak, karena pencemaran lingkungan dapat menimbulkan gangguan terhadap kesejahteraan dan kesehatan manusia, bahkan dapat berakibat terhadap jiwa manusia. Berdasarkan medium fisik lingkungan tersebutnya bahan kimia ini, maka pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh bahan kimia dapat dibagi menjadi tiga jenis pencemaran, yaitu: Pencemaran air, Pencemaran udara dan Pencemaran tanah (Suprianto, 2004)[76].

## B. Sanitasi Lingkungan

Sanitasi lingkungan adalah status kesehatan lingkungan yang mencakup perumahan, pembuangan kotoran, penyediaan air bersih dan sebagainya (Notoadmodjo, 2003)[48]. Sanitasi lingkungan dapat pula diartikan sebagai kegiatan yang ditujukan untuk meningkatkan dan mempertahankan standar kondisi lingkungan yang mempengaruhi kesejahteraan manusia.

Kondisi kesehatan lingkungan seringkali dikaitkan dengan istilah sanitasi yang oleh Organisasi Kesehatan Sedunia (WHO), menyebutkan sanitasi lingkungan adalah suatu usaha untuk mengawasi beberapa



faktor lingkungan fisik yang berpengaruh kepada manusia, terutama terhadap hal-hal yang mempunyai efek merusak perkembangan fisik, kesehatan dan daya tahan hidup manusia (Kusnoputranto, 1986)[31].

Menurut Mangkoedihardjo dan Samudro (2010)[38], Sanitasi lingkungan didefinisikan sebagai intervensi memotong siklus rantai penyakit pada manusia. cara intervensi memotong siklus rantai penyakit dilaksanakan melalui pembuangan dan pengolahan limbah manusia, sampah dan air limbah, pengendalian vektor penyakit dan penyediaan fasilitas kebersihan diri dan domestik. Sanitasi dasar adalah sanitasi minimum yang diperlukan untuk menyediakan lingkungan sehat yang memenuhi syarat kesehatan yang menitik beratkan pada pengawasan berbagai faktor lingkungan yang mempengaruhi derajat kesehatan manusia (Azwar, 1995)[6]. Upaya sanitasi dasar meliputi penyediaan air bersih, pembuangan kotoran manusia, pengelolaan sampah, dan pengelolaan air limbah.

### C. Air Limbah Domestik

Air limbah adalah air yang tidak bersih dan mengandung berbagai zat yang bersifat membahayakan kehidupan manusia atau hewan dan lazimnya muncul karena hasil perbuatan manusia termasuk industrialisasi (Azwar, 1995)[6]. Air buangan limbah dapat menjadi sumber pengotoran, sehingga bila tidak dikelola dengan baik akan dapat menimbulkan pencemaran terhadap air

, tanah atau lingkungan hidup dan terkadang dapat menimbulkan pemandangan yang tidak menyenangkan (Kusnoputranto, 2000)[32].



Air limbah permukiman/domestik adalah air dari suatu daerah permukiman yang telah dipergunakan untuk berbagai keperluan dan harus dikumpulkan, dibuang untuk menjaga lingkungan hidup tetap sehat dan baik. Air limbah rumah tangga adalah bagian dari air limbah permukiman yang berasal dari buangan rumah tangga serta resapan (*inflow*), tidak termasuk buangan industri dan air hujan (Sugiharto, 1987)[73].

Batasan air limbah adalah kombinasi dari cairan dan sampah-sampah cair yang berasal dari daerah permukiman, perdagangan, perkantoran, dan industri, bersama-sama dengan air tanah, air permukaan, dan air hujan yang mungkin ada (Metcalf dan Eddy, 1981)[41]. Limbah domestik mengandung sampah padat dan cair yang berasal dari limbah rumah tangga dengan beberapa sifat utama yaitu, 1) mengandung bakteri, 2) mengandung bahan organik dan padatan tersuspensi sehingga BOD biasanya tinggi, 3) padatan organik dan anorganik yang mengendap di dasar perairan menyebabkan oksigen terlarut (DO) rendah, 4) mengandung bahan terapung dalam bentuk suspensi sehingga mengurangi kenyamanan dan menghambat laju fotosintesis (Suhartono, 2009)[74].

Air limbah domestik dikarakteristikan sebagai *greywater* dan *blackwater*. *Greywater* adalah air limbah domestik yang berasal dari air bekas cucian piring, air bekas mandi dan cuci baju, sedangkan *blackwater* adalah air limbah domestik yang dikeluarkan melalui toilet, urinoir dan bidets. Berdasarkan pertimbangan kesehatan masyarakat, air limbah *greywater* dan *blackwater* tidak digabung bersama. *Blackwater* oleh sebagian penduduk melalui *septic tank*, namun sebagian dibuang langsung ke sungai,



sedangkan *greywater* hampir seluruhnya dibuang ke sungai-sungai melalui saluran. Sungai didefinisikan sebagai badan air alamiah tempat mengalirnya air hujan dan air buangan menuju laut dan tempat bersemayamnya unsur biotik dan abiotik (Lopa, 2013)[37].

Air limbah domestik dapat berpengaruh buruk terhadap berbagai hal karena dapat berperan sebagai media pembawa penyakit, dapat menimbulkan kerusakan pada bahan bangunan dan tanaman, dapat merusak ekosistem perairan. Air limbah juga dapat menurunkan nilai estetika (keindahan) karena akan mengakibatkan munculnya bau busuk dan pemandangan yang kurang sedap (Sugiharto, 1987)[73].

#### **D. Greywater**

*Greywater* merupakan bagian dari air limbah domestik yang proses pengalirannya tidak melalui toilet misalnya air bekas mandi, air bekas mencuci pakaian dan air bekas cucian dapur.

##### **1. Karakteristik Umum**

Karakteristik *greywater* pada umumnya mengandung beban organik relatif kecil serta unsur nitrogen dan fosfat yang cukup tinggi. Unsur-unsur tersebut merupakan nutrisi bagi tumbuhan, sehingga jika *greywater* dialirkan begitu saja ke badan air permukaan maka akan menyebabkan eutrofikasi pada badan air tersebut. Eutrofikasi adalah sebuah peristiwa dimana badan air

akan kaya akan materi organik, sehingga menyebabkan pertumbuhan yang pesat pada permukaan badan air tersebut (Metcalf dan Eddy, Peristiwa eutrofikasi ini dapat menurunkan kualitas badan air



permukaan karena dapat menurunkan kadar oksigen terlarut di dalam badan air tersebut. Sebagai akibatnya, makhluk hidup air yang hidup di badan air tersebut tidak dapat tumbuh dengan baik atau mungkin mati.

## 2. Sumber - Sumber *Greywater*

- a. Kamar mandi, dari sumber ini kira-kira 70% *greywater* dihasilkan oleh rumah tangga karena meliputi kegiatan *cleaning, flushing toilet dan shower/bath*. Sumber ini berkaitan sebagai tempat pembersihan tubuh manusia, ada kemungkinan *greywater* yang dihasilkan dari sumber ini sedikit tercemar oleh *fecal coliform/* bakteri colli.
- b. Tempat cucian/*laundry*, berkisar 20% dari limbah *greywater* yang dihasilkan limbah rumah tangga. Kontaminan utama dari sumber ini mengandung serat-serat kain, detejen, zat kimia, sabun dan campuran lainnya.
- c. Dapur, sekitar 10% limbah *greywater* yang dihasilkan dari dapur. Kontaminan utama dari sumber ini mengandung sisa-sisa makanan, minyak masakan, deterjen dan bubuk pembersih.

## 3. Pemanfaatan

*Greywater* berpotensi besar untuk dimanfaatkan kembali, limbah jenis ini hanya sedikit mengandung bakteri patogen yang merugikan. Sekitar 75% air buangan rumah tangga merupakan *greywater*. Dalam memanfaatkan *greywater*, ada beberapa alternatif tindakan, antara lain:

1. Air bekas cucian dapat dimanfaatkan

2. Air bekas cucian beras, buah, sayur dapat dimanfaatkan untuk menyiram

3. Bahkan air bekas cucian daging dipercaya menambah subur



tanaman. Limbah semacam ini dapat langsung digunakan karena tidak mengandung deterjen. Idealnya dibuatkan penampungan khusus untuk limbah ini, sehingga dapat dimanfaatkan kembali.

b. Diolah dengan alat khusus

Untuk *greywater* lain yang mengandung sabun dan zat-zat lain, diperlukan sebuah alat khusus untuk mengolahnya. Alat ini tidak sederhana dan sulit untuk dibuat sendiri. Ketika *greywater* sudah diolah, airnya dapat dipakai untuk menyiram toilet.

c. Membersihkan kandungan *greywater* menggunakan tumbuhan

Air limbah dialirkan ke sebuah bak tanam, kemudian unsur-unsur kimia yang ada pada *greywater* diserap oleh tanaman. Beberapa unsur, antara lain nitrogen dan fosfor dibutuhkan tanaman untuk bertumbuh. Selanjutnya, yang tersisa adalah air limbah yang relatif aman untuk disalurkan ke drainase kota.

#### 4. Teknologi Pengolahan

Air buangan limbah dapat menjadi sumber pengotoran, sehingga bila tidak dikelola dengan baik akan dapat menimbulkan pencemaran terhadap air permukaan, tanah atau lingkungan hidup dan terkadang dapat menimbulkan bau serta pemandangan yang tidak menyenangkan (Kusnoputranto, 2000)[32].

Pengolahan air limbah biasanya menerapkan tiga tahapan proses yaitu pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*), pengolahan utama (*primary treatment*), dan pengolahan akhir (*post treatment*). Pengolahan pendahuluan

untuk mengkondisikan aliran, beban limbah dan karakter lainnya agar masuk ke pengolahan utama. Pengolahan utama adalah proses untuk menurunkan pencemar utama dalam air limbah. Selanjutnya



pada pengolahan akhir dilakukan proses lanjutan untuk mengolah limbah agar sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan.

Pengolahan limbah dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu pengolahan secara fisik, pengolahan secara kimiawi, dan pengolahan secara biologi.

- a. Pengolahan limbah secara fisik, proses ini dilakukan dengan cara memberikan perlakuan fisik pada air limbah seperti menyaring, mengendapkan, atau mengatur suhu proses dengan menggunakan alat *screening, grit chamber, settling tank/settling pond*, dll. Namun dalam proses pengolahan limbah secara fisik ini tidak dapat diterapkan untuk berbagai pengolahan limbah dalam proses pengolahan limbah secara fisik polutan akan dipisahkan dengan cara diendapkan. Hasil yang dicapai sangat terbatas dan memerlukan waktu yang cukup lama.
- b. Pengolahan limbah secara kimiawi, proses ini dilakukan dengan cara membubuhkan bahan kimia atau larutan kimia pada air limbah agar dihasilkan reaksi tertentu. Dalam hal ini yang sangat penting adalah menentukan jenis bahan-bahan kimia yang diperlukan. Dalam pengolahan limbah secara kimiawi, waktu dan area yang diperlukan jauh lebih kecil dibandingkan pengolahan limbah secara fisik maupun biologi dengan kata lain pengolahan limbah dengan cara ini lebih efisien. Air limbah yang mengandung zat-zat kimia termasuk logam berat, sangat tepat bila pengolahan limbah dilakukan secara kimiawi.

Pengolahan limbah secara biologi, proses ini dilakukan dengan cara memberikan perlakuan atau proses biologi terhadap air limbah seperti fisisorpsi atau penggabungan substansi biologi dengan lumpur aktif



(*activated sludge*), *attached growth filtration*, *aerobic process* dan *anaerobic process*.

## 5. Kuantitas *greywater* pada kegiatan rumah tangga

Kegiatan-kegiatan di rumah tangga yang menghasilkan *greywater* sebanyak hampir 100% dari pemakaian air bersih adalah kegiatan mencuci bahan-bahan dan peralatan dapur, mandi, wudhu, cuci pakaian, mengepel dan cuci peralatan kebersihan rumah. Data mengenai kegiatan rumah tangga yang menghasilkan *greywater* tersaji pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Jenis Kegiatan, Kebutuhan Air Bersih dan Timbulan *Greywater*

No.	Kegiatan	Pemakaian Air Bersih		Perkiraan <i>Greywater</i>	
		Satuan	Besaran	Satuan	Besaran
1	Mencuci Alat Makan dengan kran 15 menit	Liter	90	L/cuci	90
2	Mencuci Alat Makan dengan sink	Liter	45	L/cuci	45
3	Mandi	L/cuci	20	L/org	20
4	Mandi dengan shower 5 menit	L/orang	30	L/org	30
5	Mandi dengan bathtub standar	L/orang	100	L/org	100
6	Sikat gigi dengan kran 1 menit	L/orang	6	L/org	6
7	Sikat gigi dengan gelas	L/orang	0,5	L/org	0,5
8	Wudhu	L/orang/hari	15	L/org/hari	15
9	Mencuci Pakaian	L/orang/hari	13	L/org/hari	13
10	Mesin cuci front loading	L/cuci	100	L/cuci	100
11	Mesin cuci top loading	L/cuci	150	L/cuci	150
	Mengepel dan membersihkan rumah	L/hari	32	L/hari	32
	Cuci mobil	L/mobil	75	L/mobil	75

(2008)[36].



## 6. Kualitas *Greywater* pada kegiatan rumah tangga

Kualitas air cucian mengandung materi organik dari kotoran yang melekat pada baju dan mengandung sabun cuci dan pewangi cucian pakaian. *Greywater* dapat terdekomposisi secara cepat dalam waktu 24 jam yang dapat menyebabkan *greywater* dalam kondisi septik. *Greywater* juga mengandung bahan kimia yang berasal dari sabun atau detergen meliputi sodium, potassium dan calcium yang cenderung menaikkan alkalinitas tanah bila digunakan untuk menyiram tanaman. Data mengenai kualitas *greywater* yang dihasilkan dari rumah tangga tersaji pada Tabel 3.

**Tabel 3 .** Kualitas *Greywater* dari Berbagai Kegiatan di Rumah Tangga

No	Kegiatan	Kualitas
1	Mencuci bahan makanan	Potongan-potongan bahan makanan
2	Mencuci alat masak	Sabun, minyak, sisa-sisa makanan
3	Mencuci alat makan	Sabun, minyak, sisa-sisa makanan
4	Mandi	Sabun, rambut, kotoran-kotoran badan
5	Wudhu	Relative bersih
6	Mencuci pakaian	Sabun, potongan benang, kotoran pada baju
7	Kebersihan rumah	Sabun, kotoran/debu
8	Cuci mobil	Sabun, oil, debu

Sumber: Lita (2008)[36].

Tingkat pencemaran air limbah domestik terbagi dalam 3 kategori yakni tingkat pencemaran ringan, sedang dan berat. Menurut Rump dan Krist (1992)[66], air limbah domestik dapat diklasifikasikan tingkat pencemarannya berdasarkan kualitas parameter air limbah sebagai berikut (Tabel 4).



**Tabel 4.** Klasifikasi Tingkat Pencemaran Air Limbah Domestik

Parameter	Tingkat Pencemaran		
	Berat	Sedang	Ringan
Padatan Total (mg/L)	1000	500	200
Padatan Terendapkan (mg/L)	12	8	4
BOD (mg/L)	300	200	100
COD (mg/L)	800	600	400
N Total (Mg/L)	85	50	25
Ammonia N (mg/L)	30	30	15
Klorida (mg/L)	175	100	15
Alkalinitas (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Minyak dan Lemak	40	20	0

Sumber: Rump dan Krist (1992).

### E. Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah teknologi proses dengan menggunakan tanaman untuk menghilangkan dan memperbaiki kondisi tanah, *sludge*, kolam, sungai dari kontaminan. Mekanisme kerja fitoremediasi terdiri dari beberapa fitoproses yaitu *fitostabilisasi*, *rizofiltrasi*, *rizodegradasi*, *fitoekstraksi*, *fitodegradasi* dan *fitovolatilisasi*. Tiga fitoproses berlangsung dalam zona akar tumbuhan: *Fitostabilisasi* merupakan proses immobilisasi kontaminan dalam tanah, *rizofiltrasi* merupakan proses adsorpsi atau presipitasi kontaminan pada akar atau penyerapan ke dalam akar dan *rizodegradasi* adalah penguraian kontaminan dalam tanah oleh aktifitas mikroba. Tiga fitoproses berikutnya berlangsung oleh sumber tumbuhan: *fitoekstraksi* adalah proses penyerapan kontaminan dari medium tumbuhnya, *fitodegradasi* merupakan penguraian kontaminan yang terserap melalui proses metabolik dalam tumbuhan, dan *fitovolatilisasi* merupakan proses pelepasan kontaminan ke udara setelah diserap oleh tumbuhan (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010)[38].



## F. Tumbuhan Fitoremediator

### 1. Tanaman Kana

Klasifikasi kana sebagai berikut,

Kingdom : Plantae  
 Divisi : Tracheophyta  
 Kelas : Magnoliopsida  
 Ordo : Zingiberales  
 Famili : Cannaceae  
 Genus : *Canna*  
 Spesies : *Canna indica* L.



**Gambar 1.** Tanaman Kana (*Canna indica*)

Kana (*Canna indica* L.) yang terlihat pada Gambar 1 merupakan tanaman yang mampu hidup di dataran rendah hingga ketinggian 1.000 m dpl. Tumbuhan ini tumbuh besar, tegak, dengan tinggi mencapai dua meter. Daunnya besar dan lebar, menyirip jelas. Warnanya hijau atau merah tengguli. Bunganya besar dengan warna-warna cerah, seperti merah, merah muda, dan kuning yang tersusun dalam bentuk tandan. Penggunaan tanaman ini sebagai vegetasi RTH (taman) dapat menambah nilai estetika lingkungan.

### 2. Tanaman Iris

Klasifikasi Iris sebagai berikut :

Kingdom : Plantae  
 Divisi : Tracheophyta  
 Kelas : Magnololiopsida  
 Ordo : Asparagales  
 : Iridaceae  
 : *Iris pseudocorus*



**Gambar 2.** Tanaman Iris (*Iris pseudocorus*)



Tanaman Iris yang terlihat pada Gambar 2 termasuk kelompok tumbuhan dari family Iridaceae yang berasal dari Eropa dan Asia. Tumbuh di tanah yang lembab dan tak tahan kering. Dapat difungsikan sebagai pembatas maupun pengisi taman minimalis. Ada juga yang menanamnya dalam pot. Keunggulan dari bunga iris adalah bunga yang sangat cocok untuk taman rumah ini tahan terhadap penyakit. Sangat jarang terkena hama dan virus yang dapat mengganggu pertumbuhannya.

### 3. Tanaman Sirih Gading

Klasifikasi kana sebagai berikut :

Kingdom : Plantae  
 Divisi : Magnoliophyta  
 Kelas : Liliopsida  
 Ordo : Araceae  
 Famili : Epipremnum  
 Genus : *Epipremnum aereum*



**Gambar 3.** Sirih Gading (*Epipremnum aureum*)

Sirih gading (*Epipremnum aureum*) adalah tumbuhan merambat semi epifit yang biasa ditanam sebagai penghias pekarangan atau ruangan. Tumbuhan anggota suku talas-talasan (*Araceae*) ini mudah dikenal dari warna daunnya yang belang warna kuning cerah hingga kuning pucat, merambat di batang pohon dengan daun yang besar sehingga menutupi batang pohon yang dirambatnya. Apabila ditanam di dalam pot, daunnya mengecil. Potongan dapat bertahan hidup cukup lama apabila bagian pangkalnya ke air.



## G. Cendawan Mikoriza

Mikoriza berasal dari kata Miko berarti akar tanaman. Struktur yang terbentuk dari asosiasi ini tersusun secara beraturan dan memperlihatkan spektrum yang sangat luas baik dalam hal tanaman inang, jenis cendawan maupun penyebarannya. Menurut Nuhamara, (2009)[52] bahwa mikoriza adalah suatu struktur yang khas yang mencerminkan adanya interaksi fungsional yang saling menguntungkan antara suatu tumbuhan tertentu dengan satu atau lebih galur mikobion dalam ruang dan waktu.

Kondisi lingkungan tanah yang cocok untuk perkecambahan biji juga cocok untuk perkecambahan spora mikoriza. Jamur mikoriza mempenetrasi epidermis akar melalui tekanan mekanis dan aktivitas enzim, yang selanjutnya tumbuh menuju korteks. Pertumbuhan hifa secara eksternal terjadi jika hifa internal tumbuh dari korteks melalui epidermis. Pertumbuhan hifa secara eksternal tersebut terus berlangsung sampai tidak memungkinkan untuk terjadi pertumbuhan lagi. Bagi jamur mikoriza, hifa eksternal berfungsi mendukung fungsi reproduksi serta untuk transportasi karbon serta hara lainnya kedalam spora, selain fungsinya untuk menyerap unsur hara dari dalam tanah untuk digunakan oleh tanaman (Pujiyanto, 2001)[56].

Tanaman yang bermikoriza biasanya tumbuh lebih baik dari pada yang tidak bermikoriza, dapat meningkatkan penyerapan unsur hara makro dan beberapa unsur hara mikro. Selain itu akar tanaman yang bermikoriza dapat

unsur hara dalam bentuk terikat dan tidak tersedia untuk tanaman. unsur hara yang meningkat penyerapannya adalah N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, (Rungkat, 2009)[68].



Nuhamara, (2009)[51] menjelaskan bahwa mikoriza dapat berfungsi sebagai pelindung biologi bagi terjadinya infeksi patogen akar. Mekanisme perlindungan ini bisa diterangkan sebagai berikut:

- a. Adanya lapisan hifa yang mencegah masuknya patogen
- b. Mikoriza menggunakan hampir semua kelebihan karbohidrat dan eksudat akar lainnya, sehingga tidak cocok bagi patogen.
- c. Fungi mikoriza dapat melepaskan antibiotik yang dapat menghambat perkembangan patogen.

Mikoriza merupakan hubungan simbiosis mutualisme yang terjadi antara cendawan dengan akar tanaman, cendawan mendapatkan nutrisi organik dari tanaman sedangkan tanaman akan terlindungi dari tanaman patogen lain. Cendawan mikoriza memproduksi substansi allelopatis yang bersifat toksik yang akan menghambat pertumbuhan tanaman di sekitar tanaman tersebut sehingga mengurangi kompetisi. Pada lingkungan yang basah mikoriza dapat meningkatkan nutrisi, khususnya ketersediaan fosfat. Sedangkan pada daerah yang kering/gersang, mikoriza membantu pengambilan air, peningkatan transpirasi. Ketika berasosiasi dengan akar tanaman, cendawan ini terus berkembang dan selama itu pula berfungsi membantu tanaman. Adanya mikoriza, resistensi akar terhadap gerakan air menurun, sehingga transfer air ke akar meningkat. Keberadaan mikoriza menyebabkan keberadaan fosfat dalam tanaman meningkat, sehingga menyebabkan daya tahan terhadap kekeringan

pula. Adanya hifa eksternal menyebabkan tanaman bermikoriza  
dapat mendapatkan air daripada yang tidak bermikoriza.



Mikoriza ada yang ditemukan sebagai sumber biofertilizer potensial yang dapat meningkatkan produktivitas budidaya tanaman. Biofertilizer semacam ini bersifat ramah lingkungan dan dapat mempertahankan kualitas tanah secara berkelanjutan (Gambar 4). Mikoriza mempunyai peran dalam mempercepat suksesi pada habitat yang terganggu secara ekstrem.



**Gambar 4.** Pupuk Micoriza

Mikoriza yang menginfeksi akar tanaman berperan dalam perbaikan nutrisi tanaman dan meningkatkan pertumbuhan, karena hifa yang menginfeksi akar mempunyai kemampuan yang tinggi dalam meningkatkan kapasitas penyerapan unsur hara fosfat, nitrogen, sulfur, seng, dan unsur esensial lainnya. Dengan adanya mikoriza, laju penyerapan unsur hara oleh akar bertambah hampir empat kali lipat dibandingkan dengan perakaran normal, demikian juga luas penyerapan akar makin bertambah hingga 80 kali.

Mikoriza berperan juga sebagai bioprotektor terhadap patogen tanaman, bioremediator bagi tanah-tanah yang tercemar dan membantu pertumbuhan tanaman pada tanah yang tercemar. Cendawan mikoriza merupakan asosiasi antara tanaman dengan cendawan yang memiliki sifat dan peran yang unik bagi tanaman, manusia, dan lingkungan hidup. Asosiasi ini diketahui memiliki fungsi yang menguntungkan tanaman simbiotiknya.

Mikoriza dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis menurut Kabirun yaitu endomikoriza dan ektomikoriza. Namun pada umumnya lebih banyak dikelompokkan menjadi tiga, yaitu dengan adanya



penambahan kelompok mikoriza yang merupakan bentuk peralihan dari kedua jenis tadi, yaitu ektendomikoriza (Harley dan Smith 1983)[22].

### 1. Ektomikoriza

Ektomikoriza biasanya ditemukan di daerah yang beriklim sedang, berasosiasi dengan tumbuhan tingkat tinggi dan beberapa semak. Tumbuhan yang membentuk ektomikoriza antara lain pohon cemara, oak, meranti, kruing, kamper, pasang, mempening (jenis-jenis Fagaceae), pinus, beberapa jenis Myrtaceae (jambu-jambuan) dan beberapa jenis legum. Tumbuhan yang tumbuh pada hutan temperata yang tumbuh pada kondisi dingin biasanya mengandung ektomikoriza, yang terdiri dari komponen fungi dari *Basidiomycetes*, *Ascomycetes* atau *Zygomycetes*. Tetapi kebanyakan yang membentuk mikoriza ialah *Basidiomycetes* (famili *Amanitaceae*, *Boletaceae*, *Cortinariaceae*, *Russulaceae*, *Tricholomataceae*, *Rhizopogonaceae*, dan *Sclerodermataceae*).

Ektomikoriza tumbuh pada sekitar akar tanaman yang akarnya berada tidak jauh dari permukaan tanah terutama pada ujung akar, selanjutnya terjadi penetrasi fungi dan mengganggu sebagian lamela tengah di antara sel korteks, hal ini umumnya dijumpai pada jenis kayu cemara atau tanaman berdaun jarum. Susunan hifa di sekeliling sel korteks ini disebut jaringan Hartig. Ektomikoriza biasanya juga menyusun jaringan hifa dengan sangat rapat pada permukaan akar, yang disebut selubung/mantel. Selubung ini sering disebut

selubung *Pseudoparenkim* (Kabirun 1994)[25]. Pada ektomikoriza, seluruhnya menyelubungi masing-masing cabang akar dalam



selubung atau mantel hifa. Hifa-hifa tersebut hanya menembus antar sel korteks akar (Rao, 1994)[61].

Banyak dari jamur ini menunjukkan inang spektrum luas. Demikian pula inang yang sama mungkin diinfeksi oleh lebih dari satu jamur misalnya *Pinus sylvestris* yang dari perakaran mikoriza dapat dipisahkan sebanyak lebih dari 40 spesies fungi. Lebih dari 5000 spesies fungi *Basidiomycetes*, banyak di antaranya yang membentuk Ektomikoriza. Miselium secara luas memanjang ke luar sel dan meningkatkan nutrisi tumbuhan. Salah satu fungi yang terpenting pada Ektomikoriza adalah *Pisolithus tinctorius*. Bila fungi ini diinokulasikan ke dalam akar tumbuhan, pertumbuhannya menjadi lebih cepat dibandingkan dengan tumbuhan yang tidak diinokulasi fungi tersebut.

Cendawan Ectomycorrhizal secara alami ada di dalam tanah dan biasanya dikaitkan dengan akar tanaman inang dalam hubungan simbiotik mutualistik. Konsep klasik mekanisme simbiotik mengidentifikasi bahwa cendawan mycorrhiza berperan dalam meningkatkan penyerapan mineral oleh tanaman inang dan sementara itu cendawan menerima karbohidrat dari tanaman inang (Harley, 1989)[21].

## 2. Endomikoriza

Endomikoriza merupakan fungi yang tidak dapat berkembang tanpa tumbuhan inang, dan biasanya fungi ini berasal dari kelompok *Zygomycetes*.

Hubungan hifa fungi yang harus masuk ke sel pada akar tanaman, kemudian

alam sel/intraseluler dan membentuk gumpalan (lilitan), sehingga  
k pembengkakan. Endomikoriza bersimbiosis dengan akar tanaman  
g berada relatif lebih dalam dari permukaan tanah. Endomikoriza



masuk ke dalam sel korteks dari akar serabut. Jamur ini tidak membentuk selubung luar yang padat, namun membentuk miselium yang tersusun longgar pada permukaan akar. Jamur juga membentuk vesikula dan arbuskular yang besar di dalam sel korteks, yang disebut dengan VAM (*Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza*), sebagai contoh jenis *Globus* dan *Acaulospora* (Thorn 1997)[81].

Arbuskular Mikoriza (AM) dicirikan dari adanya organ Arbuskular. Endomikoriza ini tumbuh dan berkembang dalam sel kortek akar tanaman inang. Organ arbuskular ialah struktur hifa yang bercabang-cabang seperti pohon-pohon kecil yang mirip haustorium berfungsi sebagai tempat pertukaran nutrisi antara tanaman inang dengan jamur. Struktur ini mulai terbentuk 2-3 hari setelah infeksi, diawali dengan penetrasi cabang hifa lateral yang dibentuk oleh hifa ekstraseluler dan intraseluler ke dalam dinding sel inang.

Setelah itu hifa yang telah memasuki lapisan korteks, sitoplasmanya akan mengalami perkembangan menjadi lebih padat dengan proses kondensasi, kemudian menyebar di dalam dan di antara sel vasikuler terbentuk setelah pembentukan arbuskular pada ujung hifa, yaitu dengan berbagai bentuk (oval, sferikal atau lobed) yang berfungsi sebagai organ penyimpanan makanan atau berkembang menjadi klamidospora, yang berfungsi sebagai organ reproduksi dan struktur tahan.

Inang yang terlibat dalam asosiasi endotrofik misalnya *Phycomycetes* (memiliki hifa tidak bersekat), contohnya pada anggrek. Anggrek memiliki

...mikoriza, contoh spesies anggrek lainnya ialah dari genus *Neottia*,  
*Epipogon*, *Coralliorhiza*, *Galeola*, *Vanilla*, *Gastrodia*,  
 ...suksis bergantung dengan jamur, namun hanya dalam tahap awal



kehidupannya. Apabila berkecambah, biji anggrek menjadi terinfeksi oleh hifa dari dalam tanah, setelah penetrasi jamur muncul dalam sel-sel korteks dalam bentuk kumparan, menyebabkan pembengkakan dan disorganisasi sel-sel dan akhirnya mengalami disintegrasi dalam sel-sel inang. Disintegrasi hifa didalam sel ini juga disebut *tolifopagi* dan *ptiofopagi* yang merupakan cara pencernaan oleh inang yang berbeda-beda. Dan proses ini mungkin terus berlangsung karena sel inang sudah terinfeksi. Infeksi hanya terbatas pada sel-sel korteks akar atau pada bagian sistem perakaran. Fungi dapat memecah lignin dan selulosa dan karena ikut menyumbang dalam pembusukan bahan organik. Dalam hal ini, fungi tersebut berbeda dengan fungi ektomikoriza yang tergantung dengan inangnya dalam hal nutrisi karbonnya. Anggrek bergantung pada fungi untuk kebutuhan-kebutuhan awal kehidupannya.

### 3. Ektendomikoriza

Ektendomikoriza, merupakan bentuk intermediet antara ektomikoriza dan endomikoriza. Ciri-cirinya antara lain adanya selubung akar yang tipis dan adanya jaringan Hartig, hifa dapat menginfeksi dinding sel korteks dan juga sel-sel korteknya. Penyebarannya terbatas dalam tanah-tanah hutan sehingga pengetahuan tentang mikoiza tipe ini sangat terbatas.

Mikoriza endotrofi dijumpai pada tanaman gandum, jagung, buncis, jeruk dan tanaman komersial lain serta jenis rumput-rumputan tertentu. Terdapat bukti bahwa, pada lingkungan tumbuhan, mikoriza dapat meningkatkan

antar tumbuhan tersebut. Pada lingkungan yang basah Mikoriza meningkatkan nutrisi, khususnya ketersediaan fosfat. Sedangkan pada lingkungan yang kering/gersang, Mikoriza membantu dalam pengambilan air,



peningkatan transpirasi, dibandingkan dengan tanpa adanya mikoriza pada tumbuhan. Dan ini akan memberikan manfaat dalam penggantian energi yang diperlukan untuk fotosintesis tumbuhan.

## H. Simbiosis Mutualisme

Dalam sebuah ekosistem, salah satu komponen yang penting adalah makhluk hidup, baik itu manusia, hewan dan juga tumbuhan. Ekosistem yang seimbang selalu ditandai dengan interaksi antara makhluk hidup dan juga lingkungan. Salah satu bentuk interaksi di antara makhluk hidup disebut dengan simbiosis. Simbiosis mutualisme merupakan pola interaksi atau hubungan antara dua organisme dengan jenis yang berbeda dimana keduanya mendapatkan keuntungan dari hubungan tersebut.

Interaksi antara tanaman dan mikroba di rizosfir diinisiasi oleh tanaman dengan cara mensekresikan eksudat akar sehingga mengundang mikroba datang ke rizosfir. Mikroba yang mengkoloni rizosfir mengakibatkan terjadinya modifikasi lingkungan fisik dan kimia tanah di sekitar rizosfir yang akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Perubahan kimia dapat terjadi sebagai akibat dari adanya humifikasi bahan organik. Pada rizosfir juga terjadi mineralisasi berbagai bahan organik menjadi bentuk yang siap diserap tanaman oleh aktivitas mikroba. Rizosfir juga dikoloni oleh mikroba yang mampu melakukan fiksasi nitrogen bebas menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan

tanaman. Akar tanaman juga membangun interaksi berupa simbiosis dengan fungi membentuk asosiasi yang biasa dikenal mikoriza.



Simbiosis ini menyebabkan meluasnya sistem perakaran sehingga memperluas cakupan akar dalam menyerap unsur hara (Widyati, 2013)[90].

Simbiosis terjadi dalam akar tanaman, dimana cendawan mengkolonisasi apoplast dan sel korteks untuk memperoleh karbon dari tanaman. Kontribusi cendawan pada peristiwa simbiosis sangat kompleks, tetapi aspek utama meliputi transfer nutrien mineral, khususnya fosfat dari tanah ke tanaman. Perkembangan asosiasi ini memerlukan koordinasi molekular dan differensiasi selular dari kedua simbion untuk membentuk suatu system dimana transfer nutrient terjadi dua arah (Delvian, 2006)[12].

### I. *Constructed Wetland*

Menurut Hammer (1986) pengolahan limbah dengan sistem *wetlands* didefinisikan sebagai sistem pengolahan yang memasukkan faktor-faktor utama diantaranya area yang tergenangi air dan mendukung kehidupan tumbuhan air sejenis *hydrophyta*, media tempat tumbuh berupa tanah yang selalu digenangi air (basah), dan media ini bisa juga bukan tanah tetapi media yang jenuh dengan air seperti kerikil, dan pasir.

Keunggulan teknologi ini dibandingkan dengan fasilitas pengolahan limbah lainnya adalah sebagai berikut:

- a. Biaya pembangunan dan operasi relatif lebih murah.
- b. Mudah dioperasikan dan perawatan, sehingga tidak membutuhkan karyawan

keahlian tinggi.

akan fasilitas pembersih air limbah yang efektif dan dapat an.



- d. Toleran terhadap berbagai tingkat konsentrasi bahan pencemar sebagai akibat fluktuasi hidrolis dan jumlah bahan pencemar yang memasuki sistem.
- e. Dapat menghilangkan senyawa beracun (termasuk logam berat) yang tidak dapat dibersihkan oleh fasilitas konvensional.
- f. Bahan pencemar di dalam air dapat didaur ulang untuk menjadi biomassa yang bernilai ekonomis.
- g. Cocok dikembangkan di permukiman kecil dimana harga tanah relatif murah dan air limbah berasal dari rumah tangga.
- h. Menyumbangkan keuntungan yang tidak langsung bagi lingkungan seperti kawasan hijau, habitat satwa liar, kawasan rekreasi dan pendidikan.

### 1. Tipe Metode *Wetland*

Secara umum ada dua tipe lahan basah diantaranya lahan basah alamiah (*natural wetland*) yaitu suatu sistem pengolahan limbah dalam area yang sudah ada secara alami, misalnya daerah rawa dimana kehidupan biota dalam *natural wetland* ini sangatlah beragam serta jenis tanaman, jarak tumbuh tanaman, dan debit air limbah yang masuk tidak direncanakan dan terjadi secara alamiah. Lahan basah alami atau *natural wetland* adalah wilayah di mana tanahnya jenuh dengan air, baik bersifat permanen atau musiman, area lahan basah alami meliputi rawa-rawa, payau, hutan bakau, dan gambut dengan air tergolong air tawar, payau atau asin (Puspita, dkk., 2005)[57].

Kedua adalah lahan basah buatan (*constructed wetland*). *Constructed*

adalah suatu ekosistem lahan basah yang terbentuk akibat intervensi lahan basah buatan biasanya dibuat untuk meningkatkan produksi pertanian dan perikanan, pembangkit tenaga listrik, sumber air, atau



untuk meningkatkan keindahan bentang alam bagi keperluan pariwisata, dan pengelolaan limbah (Puspita, dkk., 2005)[57]. *Constructed wetland* merupakan sistem pengolahan limbah cair yang direncanakan, misalnya debit limbah, kedalaman media, beban organik, jenis tanaman, jumlah tanaman, dan lainnya juga diatur, sehingga kualitas air limbah yang keluar dari sistem tersebut dapat dikontrol sesuai dengan yang dikehendaki oleh pembuatnya (Supradata, 2005)[75].

## 2. Proses *Constructed Wetland*

Rawa buatan atau *constructed wetland* adalah suatu sistem yang dibangun dan dirancang menyerupai rawa alami untuk keperluan pengolahan air tercemar. Proses pengolahan air tercemar pada rawa buatan merupakan suatu proses alamiah yang melibatkan tumbuhan air, sedimen, dan mikroorganismenya, dengan matahari sebagai sumber energi (Vymazal, 2008)[86].

Novotny dan Olem (1994)[50] menguraikan proses-proses yang terjadi di dalam rawa buatan secara lengkap yang meliputi proses fisik, fisika-kimia, dan biokimia. Proses-proses fisik terdiri dari sedimentasi, filtrasi padatan tersuspensi oleh sedimen dan tumbuhan air, serta pemanasan dan volatilisasi. Proses fisika kimia terdiri dari proses adsorpsi bahan pencemar oleh tumbuhan air, sedimen, dan substrat organik. Proses biokimia terdiri dari proses penguraian zat tercemar oleh bakteri yang menempel pada permukaan substrat/sedimen, perakaran tumbuhan, dan serasah (bahan organik).

perhasilan rawa buatan dalam menghasilkan kualitas air yang bagus dari sifat kimia air yang dikelola, kapasitas mengalirkan air, dan dari rawa buatan. Sistem pengelolaan limbah dipengaruhi oleh



konstruksi rawa buatan. Secara umum, konstruksi rawa buatan dapat dikelompokkan menjadi rawa buatan aerobik dan anaerobik.

Pada proses penguraian oleh bakteri; proses penguraian secara aerobik (nitrifikasi) terjadi di *zona aerobik* dekat perakaran, proses anoksik (denitrifikasi) terjadi di daerah yang agak jauh dari perakaran, dan proses anaerobik terjadi di zona anaerobik dimana tidak terdapat oksigen. Sistem pengelolaan limbah dipengaruhi oleh konstruksi rawa buatan.

#### a. Fungsi Rawa Buatan pada Pengolahan Limbah

Tujuan utama pembangunan rawa buatan adalah untuk mengolah air limbah. Rawa buatan dapat mengolah berbagai jenis air limbah, baik air limbah domestik, pertanian, perkotaan, industri, pertambangan, maupun air tercemar yang berasal dari *run-off*. Selain itu rawa buatan juga dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas air dari suatu sungai atau danau; untuk keperluan ini air dari sungai atau danau yang tercemar dibelokkan ke dalam rawa buatan dan didiamkan beberapa waktu dalam rawa buatan tersebut agar terjadi proses purifikasi air secara alami sebelum akhirnya dialirkan kembali ke dalam badan sungai atau danau. Rawa buatan yang berfungsi seperti ini banyak ditemukan di Amerika (USA), Australia, dan Eropa (Meutia, 2001)[44].

Pengolahan air limbah/air tercemar dengan rawa buatan adalah sistem pengolahan air limbah yang memanfaatkan tumbuhan air dan mikroorganisme

mesin pengolah limbah serta matahari sebagai sumber energinya.

bab itu sistem rawa buata adalah sistem lingkungan (ekosistem) berkelanjutan (*environmental sustainable*). Pada prinsipnya sistem ini



memanfaatkan aktifitas mikroorganisme yang menempel pada akar tumbuhan air dalam menguraikan zat pencemar dimana akar tumbuhan air menghasilkan oksigen sehingga tercipta kondisi aerobik yang mendukung proses penguraian tersebut. Pada akhirnya di dalam rawa buatan terjadi siklus biogeokimia dan rantai makanan, sehingga sistem ini merupakan sistem yang berkelanjutan.

#### b. Proses Pembuatan *Constructed Wetland*

Sistem rawa buatan dibangun berdasarkan kebutuhan dengan cara yang sangat sederhana dan biaya yang relatif murah. Untuk membuat rawa buatan perlu dilakukan studi awal mengenai karakteristik air limbah yang akan diolah, debit air limbah, dan hasil akhir yang diinginkan. Setelah ketiga hal tersebut diketahui maka dilakukanlah perhitungan untuk menentukan luas rawa buatan, waktu detensi, dan kedalaman kolam. Waktu detensi umumnya berkisar 1-7 hari, namun ada juga penelitian yang menggunakan waktu detensi lebih cepat. Kedalaman kolam rawa buatan biasanya berkisar antara 60-80 cm. Selain karakteristik air limbah, debit air limbah, dan hasil akhir yang diinginkan. Ada faktor-faktor lain juga yang harus diperhatikan dalam mendesain rawa buatan. Faktor-faktor tersebut antara lain beban limbah, substrat/media, tanaman air, fungsi kolam, kemiringan kolam, dan unsur estetika (Puspita, dkk., 2005)[57]:

### 3. Tipe-tipe *Constructed Wetland*



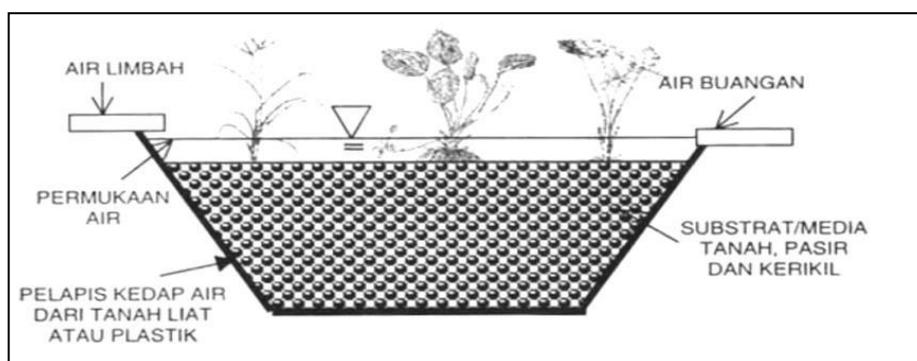
*Constructed wetland* adalah sistem pengolahan yang terencana dan yang didesain dan dibangun dengan memanfaatkan proses alami. Sistem ini menggunakan media, vegetasi dan mikroorganisme untuk mengolah air

limbah. Selain untuk menyediakan oksigen di zona akar, tujuan *constructed wetland* memanfaatkan sejumlah tanaman adalah untuk menambah luas permukaan bagi pertumbuhan mikroorganisme yang tumbuh di zona akar. Selain itu, tanaman juga dimanfaatkan agar dapat menyerap logam yang terkandung didalam air limbah yang diolah (Risnawati dan Damanhuri, 2009)[64].

a. Berdasarkan Rancangan Aliran

1) Rawa buatan beraliran permukaan (*surface flow/SF*)

Rawa buatan dengan sistem aliran permukaan (Gambar 5) terdiri dari kolam atau saluran dengan media alami (tanah) atau buatan (pasir/kerikil) untuk menyokong pertumbuhan tanaman air. Tanaman air mencuat (*emergent aquatic plant*) tumbuh di atas media dan air limbah diolah pada saat air mengalir di atas permukaan media melalui rumpun tanaman dan serasah (Meutia, 2001)[44].



**Gambar 5.** Rawa Buatan Beraliran Permukaan (*surface flow/SF*)

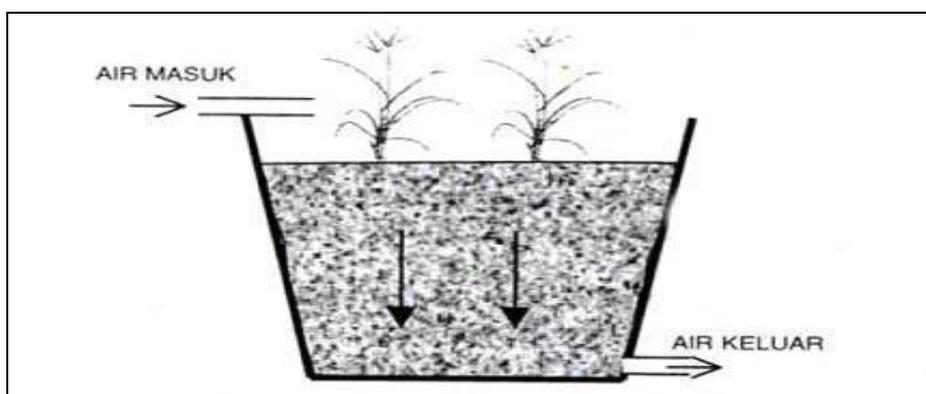


tipe ini mirip dengan rawa alami, dimana air limbah mengalir di sela-sela pertumbuhan air, di atas permukaan media yang tergenang (Khiatuddin, [30]. Pada rawa buatan tipe ini, air limbah terutama diolah oleh

bakteri yang menempel di batang, daun, dan rhizoma tanaman air. Ketinggian paras air pada rawa buatan tipe ini biasanya kurang dari 0,4 m. Rawa buatan beraliran permukaan biasanya panjang dan sempit untuk mengurangi aliran air singkat (*hydraulic short circuiting*) (Meutia, 2001)[44].

## 2) Rawa buatan beraliran permukaan secara vertikal

Rawa buatan beraliran vertikal sering digunakan pada tahap awal sistem pengolahan air limbah setelah proses pra-pengendapan air limbah dilakukan. Pada rawa buatan tipe ini air limbah dialirkan di atas permukaan kolam secara berselang-seling sehingga terjadi percikan air yang merembes/mengalir ke bawah melalui media kerikil dan sistem perakaran tanaman dimana proses-proses penjernihan alami secara aerobik berlangsung. Pengontrolan debit air perlu dilakukan agar tidak terbentuk genangan air di bagian dasar sistem rawa buatan sehingga kondisi aerobik dapat tercipta di seluruh bagian kolam (Meutia, 2001)[44].



Gambar 6. Rawa Buatan Beraliran Vertikal Menurun (*surface flow/SF*)

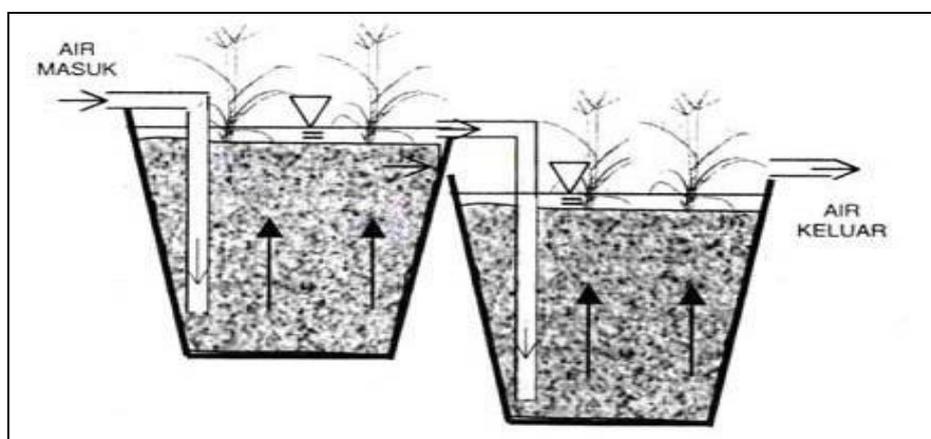
Menurut Khiatuddin (2003)[30], rawa buatan beraliran vertikal ini dapat lagi menjadi dua tipe, yaitu: Rawa buatan dengan tipe aliran vertikal



menurun dan vertical menanjak. Pada rawa buatan dengan tipe aliran vertikal menurun (Gambar 6), air dialirkan di permukaan sistem lalu merembes melalui substrat yang dipenuhi oleh akar tanaman hingga kemudian mencapai dasar rawa untuk keluar dari sistem. Rawa buatan dengan sistem aliran ini mudah mengalami penyumbatan (*clogging*).

### 3) Rawa buatan dengan tipe aliran vertikal menanjak

Pada rawa buatan tipe ini (Gambar 7), air disalurkan melalui pipa ke dasar sistem lalu naik pelan-pelan melalui substrat hingga kemudian keluar melalui saluran yang terletak di permukaan substrat/media.



**Gambar 7.** Rawa Buatan Beraliran Vertikal Menanjak (*surface flow/SF*)

### 4) Rawa buatan beraliran bawah permukaan (*sub surface flow/ SSF*) secara horizontal

Rawa buatan sistem aliran bawah permukaan terdiri dari saluran/kolam dangkal berisi tanah, pasir, atau media porous (batu/kerikil) yang akan

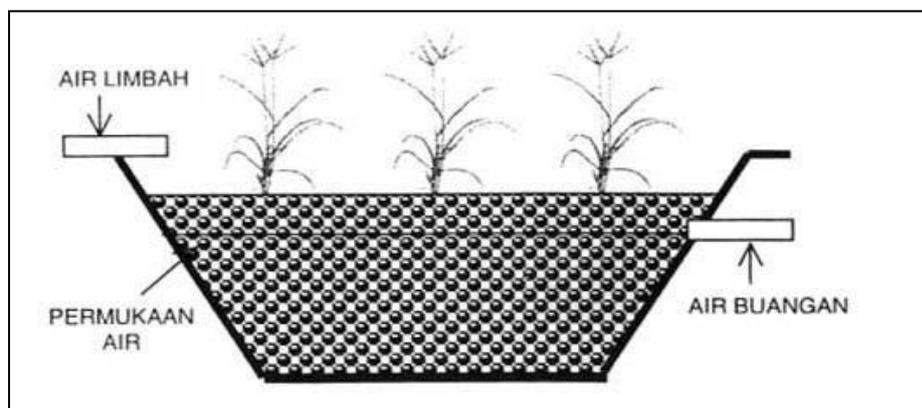
bantu proses penyaringan air (Gambar 8). Air limbah mengalir di

di permukaan media secara horizontal melalui zona perakaran

tanaman diantara kerikil/pasir (Meutia, 2001)[44]. Dalam sistem ini,



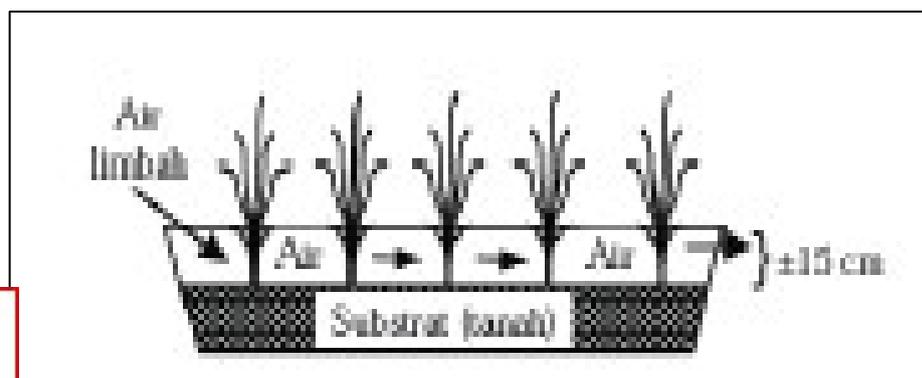
mikroorganisme sangat berperan dalam menghilangkan bahan pencemar. Mikroorganisme yang menempel di dekat akar menguraikan bahan pencemar secara aerob; kondisi aerob dekat perakaran tumbuhan disebabkan adanya pasokan oksigen dari akar tanaman (Khiatuddin, 2003)[30].



**Gambar 8.** Rawa Buatan Beraliran Bawah Permukaan Secara Horizontal(sub-surface flow/SF)

b. Berdasarkan Material Penyusun

- 1) *Aerobic wetland* (Rawa Buatan aerobik), *Wetland* ini merupakan rawa dengan kedalaman kurang dari 30 cm. Substrat pada rawa buatan aerobik biasanya terdiri dari tanah dan liat (Gambar 9).

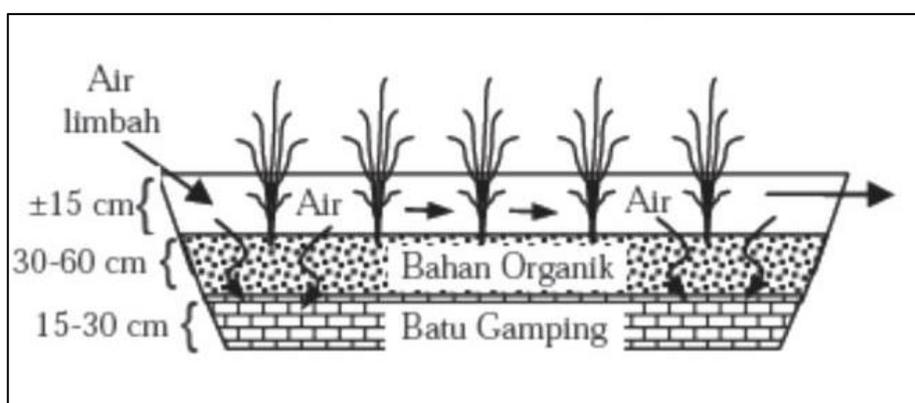


**Gambar 9.** Rawa Buatan Aerobik (*surface flow/SF*)



## 2) *Anaerobic wetland* (Rawa Buatan *Anaerobic*/Aliran Permukaan)

Tanaman pada rawa buatan anaerobik ditanam pada kedalaman lebih dari 30 cm dan substratnya terdiri dari campuran tanah dan berbagai bahan organik seperti kompos, serbuk gergaji, gambut, jerami, kotoran ternak, dan lainnya yang dicampur dengan batu gamping, kerikil atau pasir (Skousen dkk., 1998)[79]. *Constructed wetland* tipe ini tersaji pada Gambar 10 berikut,



**Gambar 10.** Rawa Buatan Anaerobik (*surface flow/SF*)

### c. Berdasarkan Jenis Tanaman

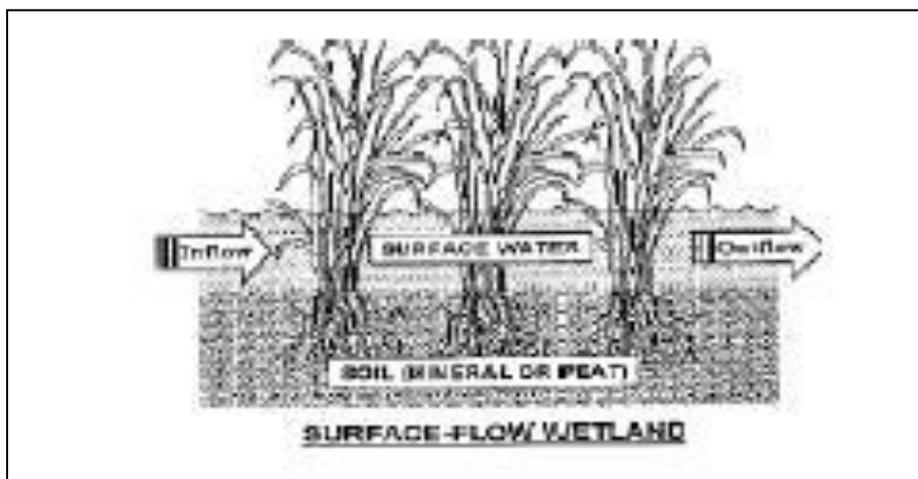
Lahan basah buatan (*constructed wetlands*) diklasifikasikan berdasarkan jenis tanaman yang digunakan menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu (Suriawiria, 2003)[77].

- 1) Sistem yang menggunakan tanaman *makrophyta* mengambang atau sering disebut dengan lahan basah sistem tanaman air mengambang (*floating aquatic plant system*).

tan Rawa buatan dengan tanaman air mencuat atau menjuk ke atas (*emerged aquatic plant*) biasanya ditempatkan di tengah-tengah unit



sistem rawa buatan yang disusun seri, tepatnya setelah perlakuan air limbah dengan tanaman air mencuat dan sebelum perlakuan air limbah dengan tanaman air terapung. Fungsinya rawa buatan tipe ini sama dengan rawa yang menggunakan tanaman air mencuat tapi biasanya untuk air limbah yang kadar pencemarnya relatif rendah (Gambar 11).



**Gambar 11.** Rawa Buatan Tanaman Terendam (*Submerged*)

- 3) Sistem yang menggunakan tanaman *makrophyta* yang akarnya tenggelam biasanya digunakan untuk lahan basah buatan tipe aliran bawah permukaan (*subsurface flow wetlands*) SSF-Wetlands. *Constructed wetlands* memiliki karakteristik performa yang baik, biaya pengoperasian dan investasi yang minimum, sangat ekonomis dan bermanfaat bagi masyarakat dalam menangani air limbah dan mekanisme penyisihan polutan merupakan dasar yang penting pada desain teknik *constructed wetlands*, dan dapat memberikan keandalan dalam desain rekayasa dan

si (Mengzhi, dkk., 2009)[40].



## J. Parameter Pengujian

### 1. Pertumbuhan Tanaman

Pengertian pertumbuhan membutuhkan ukuran secara tepat dan dapat dibaca dengan bentuk kuantitatif yang dapat diukur. Analisis pertumbuhan merupakan suatu cara untuk mengikuti dinamika fotosintesis yang diukur oleh produksi bahan kering. Pertumbuhan tanaman dapat diukur tanpa mengganggu tanaman, yaitu dengan pengukuran tinggi tanaman atau jumlah daun, tetapi sering kurang mencerminkan ketelitian kuantitatif. Akumulasi bahan kering sangat disukai sebagai ukuran pertumbuhan. Akumulasi bahan kering mencerminkan kemampuan tanaman dalam mengikat energi dari cahaya matahari melalui proses fotosintesis, serta interaksinya dengan faktor-faktor lingkungan lainnya. Distribusi akumulasi bahan kering pada bagian-bagian tanaman seperti akar, batang, daun dan bagian generatif, dapat mencerminkan produktivitas tanaman.

Pertumbuhan tanaman pada dasarnya disebabkan oleh pembesaran sel dan pembelahan sel. Berdasarkan pada kenyataan ini, maka jumlah sel dapat digunakan sebagai indikator pertumbuhan tanaman dan organ tanaman. Berat tanaman dapat digunakan sebagai indikator pertumbuhan, dalam hal ini dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu berdasarkan berat segar dan berat kering (Lakitan, 1996)[33].



umbuhan dalam arti terbatas, menunjuk pada pertambahan ukuran dapat balik, mencerminkan pertambahan protoplasma. Pertumbuhan ditunjukkan oleh pertambahan ukuran dan berat kering yang tidak

dapat balik. Pertumbuhan dapat diukur sebagai pertambahan panjang, lebar atau luas; tetapi dapat pula diukur berdasarkan pertambahan volume, massa atau berat. Setiap parameter ini menggambarkan sesuatu yang berbeda dan jarang adanya hubungan sederhana antara mereka dalam organisme yang sedang tumbuh. Hal ini disebabkan pertumbuhan sering terjadi dalam arah dan kadar cepat yang berbeda yang satu sama lain tidak ada keterkaitan, sehingga perbandingan linier antara luas dan volume tidak terjadi pada waktu yang bersamaan. Dengan melibatkan parameter lingkungan seperti cahaya, suhu, air dan lain-lain, suatu model pertumbuhan yang sederhana dari suatu bagian tumbuhan seperti akar, daun dan batang telah dilakukan (Haryadi, 1988)[23].

## 2. Derajat Keasaman / pH (*Potential of Hidrogen*)

pH adalah suatu ukuran keasaman dan kadar alkali dari sebuah contoh cairan. Kadar pH dinilai dengan ukuran antara 0-14. Sebagian besar persediaan air memiliki pH antara 7,0-8,2 namun beberapa air memiliki pH di bawah 6,5 atau diatas 9,5. Sebagian besar organisme akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai pH sekitar 7 – 8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimia perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir pada pH rendah. Toksisitas logam memperlihatkan peningkatan pada pH rendah (Novotny dan Olem, 1994)[50]. Pada pH < 4, sebagian besar tumbuhan air mati karena tidak dapat bertoleransi terhadap pH rendah.

## 3. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

*Chemical Oxygen Demand (BOD)* merupakan jumlah bahan organik yang terdapat dalam air yang dapat didegradasi secara biologis. BOD dapat juga



diartikan bahwa karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf dan Eddy, 1991)[42]. Ditegaskan lagi oleh Boyd (1990)[9], bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). Mays (1996)[39] mengartikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Dari pengertian ini dapat dikatakan bahwa walaupun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen, tetapi untuk mudahnya dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah terurai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan.

Prinsip pengukuran BOD pada dasarnya cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal ( $DO_1$ ) dari sampel segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap ( $20^\circ\text{C}$ ) yang sering disebut dengan  $DO_5$ . Selisih  $DO_1$  dan  $DO_5$  ( $DO_1 - DO_5$ ) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L).

#### 4. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

*Chemical oxygen demand (COD)* merupakan jumlah oksigen (mg/L) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sejumlah

oksidator yang paling umum digunakan adalah  $K_2Cr_2O_7$  (Alaerts, nilai COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses kimiawi. Maka,



semakin tinggi COD maka semakin tinggi kadar oksigen terlarut untuk oksidasi dan oksigen yang tersedia untuk biota perairan semakin rendah.

Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) sebagai oksidator pada sampel yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat ( $Ag_2SO_4$ ), kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat diatasi dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Reaksi oksidasi dinyatakan berakhir, ditandai dengan adanya perubahan warna campuran dari kuning menjadi hijau, yang menunjukkan reduksi  $Cr_2O_7^{2-}$  menjadi  $2Cr^{3+}$  (Alaerts, 1984)[2].

Definisi lain COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. Uji COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan cara menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah, oleh karena itu diperlukan pengolahan yang tepat dimana dapat mengurangi baik secara kualitas dan kuantitas konsentrasi bahan organik di dalam air (Metcalf dan Eddy, 1991)[42].



### **Suspended Solid (TSS)**

Suspended solid (TSS) merupakan penyebab utama kekeruhan air disebabkan oleh partikel tersuspensi di dalam air yang dapat mengganggu

penyerapan cahaya matahari ke dalam air. Semakin tinggi TSS maka akan semakin rendah kualitas air. TSS meliputi seluruh padatan yang terdapat dalam air, baik senyawa organik maupun anorganik.

TSS merupakan bahan-bahan tersuspensi (diameter  $> 1\mu\text{m}$ ) yang bertahan pada saringan dengan diameter pori  $0,45\ \mu\text{m}$ . TSS pada lingkungan berasal dari lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. Dalam limbah rumah tangga TSS yang tinggi bisa berasal dari berbagai aktifitas seperti cuci, mandi dan bersih-bersih rumah.

## 6. Total Phosphorus (TP)

fosfat adalah bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan dan merupakan unsur esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan alga sehingga dapat mempengaruhi tingkat produktivitas perairan (Bahri, 2006)[7].

Studi sirkulasi fosfor di lingkungan perairan laut dan sungai merupakan perhatian di berbagai bidang ilmu. Dahuri (2000)[11] menyatakan bahwa kadar fosfat akan semakin tinggi dengan menurunnya kedalaman. Konsentrasi fosfat relatif konstan pada perairan dalam, biasanya terjadi pengendapan sehingga nutrien meningkat seiring dengan waktu. Adanya proses *run off* yang berasal dari daratan akan mensuplai kadar fosfat pada lapisan permukaan, tetapi tidak terlalu besar. Penambahan terbesar dari lapisan dalam melalui proses kenaikan masa air. Di perairan, bentuk unsur fosfor berubah secara terus menerus akibat



komposisi dan sintesis antara bentuk organik, dan bentuk anorganik dilakukan oleh mikroba. Semua polifosfat mengalami hidrolisis menjadi ortofosfat. Perubahan ini bergantung pada suhu yang mendekati

titik didih, perubahan polifosfat menjadi ortofosfat berlangsung cepat. Kecepatan ini meningkat dengan menurunnya nilai pH. Perubahan polifosfat menjadi ortofosfat pada air limbah yang mengandung banyak bakteri lebih cepat dibandingkan perubahan yang terjadi pada air bersih (Effendi, 2003)[15].

## 7. Total Nitrogen (TN)

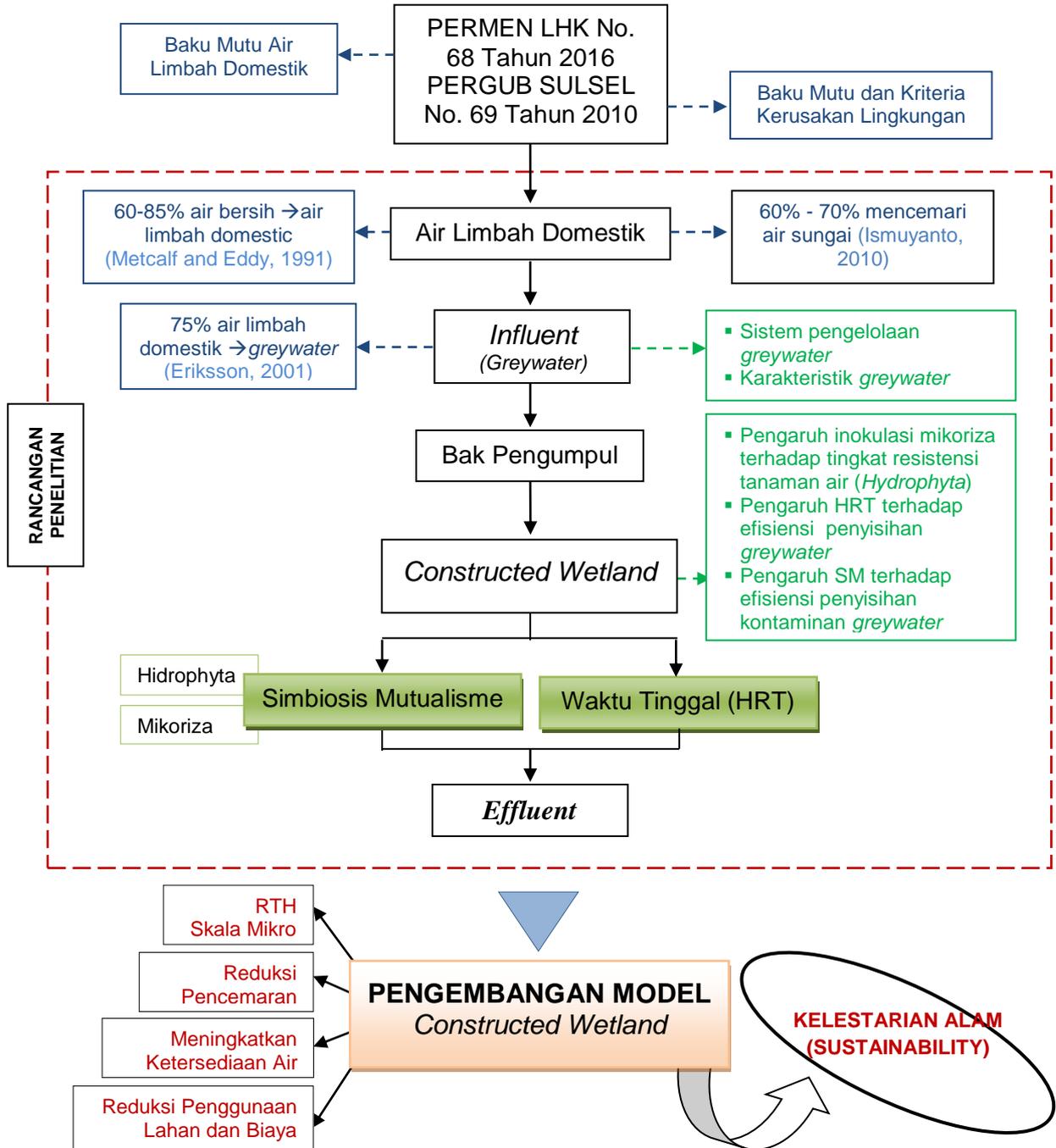
Nitrogen dan senyawanya tersebar secara luas dalam biosfer. Lapisan atmosfer bumi mengandung sekitar 78% gas nitrogen. Bebatuan juga mengandung nitrogen. Pada tumbuhan dan hewan, senyawa nitrogen ditemukan sebagai penyusun protein dan klorofil. Meskipun ditemukan dalam jumlah yang melimpah di atmosfer, akan tetapi nitrogen tidak dapat dimanfaatkan secara langsung. Nitrogen harus mengalami fiksasi terlebih dahulu menjadi  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  dan  $\text{NO}_3$ .

Di perairan nitrogen berupa anorganik dan organik. Nitrogen anorganik terdiri dari ammonia ( $\text{NH}_3$ ), ammonium ( $\text{NH}_4$ ), nitrit ( $\text{NO}_2$ ), nitrat ( $\text{NO}_3$ ) dan molekul nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dalam bentuk gas. Nitrogen organik berupa protein, asam amino, dan urea. Bentuk utama nitrogen dalam air limbah adalah material protein yang dipecah oleh bantuan enzim proteinase menjadi ammonia, nitrat dan nitrit. Senyawa-senyawa nitrogen terdapat dalam bentuk terlarut atau sebagai bahan tersuspensi. Jenis nitrogen di air meliputi nitrogen organik, ammonia, nitrit dan nitrat (Saeni, 1989)[70].

## K. Kerangka Pikir Penelitian

gka penelitian yang merupakan penjelasan secara garis besar alur  
alannya penelitian ini tersaji pada Gambar 12.





Gambar 12. Kerangka Pikir Penelitian

