

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian terdahulu

Tanaman Kiambang merupakan tanaman yang dapat menyerap kandungan bahan pencemar dalam air limbah, dibuktikan dengan penelitian tentang Kiambang (*Salvinia cucullata*) dalam menurunkan kadar polutan air limbah industri yaitu dapat mencapai efisiensi penurunan BOD₅ 43,02% dan COD 31,04%. Adapun penelitian lain tentang kemampuan Kiambang (*Salvinia cucullata*) dalam menyerap minyak lemak dalam sampel minyak buatan yaitu mampu menyerap minyak 313.5 g/m². Tanaman lain yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanaman Eceng Gondok, penelitian mengenai tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dalam menurunkan kandungan minyak lemak dilakukan pada limbah minyak hasil penyulingan kayu putih, menunjukkan hasil tidak adanya pengaruh massa tanaman terhadap kadar minyak lemak yang diserap. Penelitian lain mengenai tanaman Eceng gondok dalam mengolah air limbah domestik menunjukkan Eceng gondok dapat menurunkan pH mencapai 1,25; memiliki efektivitas penurunan COD, BOD, dan minyak lemak berturut-turut 75%; 90%; dan 90%. Pada tabel 2.1 menyajikan rangkuman penelitian terdahulu yang menunjukkan kemampuan tanaman dalam menurunkan kontaminan air limbah.

Tabel 2. 1. Ringkasan penelitian terdahulu

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1	Zeiger, dkk(2016)	Mengetahui kapasitas penyerapan minyak dari empat spesies <i>Salvinia</i> dengan struktur permukaan daun yang berbeda, Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>), Teratai (<i>Nelumbo nucifera</i>), dan membandingkan kapasitas penyerapannya dengan <i>sorbents</i> minyak buatan.	Tanaman <i>S. molesta</i> mampu menyerap minyak 650.0 g/m ² paling tinggi diantara tanaman lainnya, tanaman <i>S. minima</i> mampu menyerap minyak 319.3 g/m ² , tanaman <i>S. cucullata</i> mampu menyerap minyak 313.5 g/m ² , tanaman <i>S. oblongifolia</i> mampu menyerap minyak 441.1 g/m ² , tanaman <i>P. stratiotes</i> mampu menyerap minyak 400 g/m ² , <i>N. nucifera</i> mampu menyerap minyak 100 g/m ² .	Tujuan penelitian, parameter pengujian, pemilihan variasi tanaman, jenis limbah
2	Alam & Hoque (2017)	Mengetahui kemampuan fitoremediasi tumbuhan <i>Trapa natans L.</i> dan <i>Salvinia cucullata</i>	Tanaman <i>Trapa natans L</i> mampu menurunkan beban pencemar dengan efisiensi	Tujuan penelitian, parameter pengujian, pemilihan variasi jenis

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<p><i>Roxb.</i> melalui evaluasi efisiensi pengurangan polutan dan unsur hara dalam air limbah industri.</p>	<p>BOD₅ sebesar 55%, COD 33,32%, Nitrat 50%, NH₃-N 31,25%, Total phosphor 77,27%. Sedangkan tanaman <i>Salvinia cucullata Roxb</i> mampu menurunkan polutan dengan efisiensi: BOD₅ mencapai 43,02%, COD 31,04%, Nitrat 20%, NH₃-N 5,26%, dan Total Phosphor 81,25%.</p>	<p>tanaman, jenis limbah</p>
3	Putra, (2018)	<p>Efisiensi proses fitoremediasi dalam pengolahan limbah cair penyulingan minyak kayu putih menggunakan tanaman eceng gondok (<i>Eichhornia Crassipes</i>).</p>	<p>Pengujian minyak dan lemak dengan variasi massa tanaman eceng gondok (0,5 kg, 1 kg, dan 1,5 kg) menghasilkan persentase removal masing-masing 83 %.</p>	<p>Jenis limbah, dan tujuan penelitian</p>

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
4	Imron, dkk (2019)	Mengetahui efektivitas fitoremediasi dari kombinasi 3 jenis gulma air diantaranya Eceng gondok, Kayu Apu dan Kiambang	Efektivitas penurunan COD, BOD, TSS, Amonia, dan Minyak lemak oleh tanaman Eceng Gondok yaitu : 75%; 90%: 90%; 100% dan 90%. Efektivitas penurunan COD, BOD, TSS, Amonia, dan Minyak lemak oleh tanaman Kiambang yaitu : 78%; 90%: 80%; 100% dan 80%. Efektivitas penurunan COD, BOD, TSS, Amonia, dan Minyak lemak oleh tanaman Kayu Apu yaitu : 65%; 90%: 100%; 100% dan 85%. Efektivitas penurunan COD, BOD, TSS, Amonia, dan Minyak lemak oleh kombinasi tanaman Eceng	Tujuan penelitian, parameter yang diujikan, pemilihan variasi tanaman yang digunakan.

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			<p>gondok dan Kiambang yaitu : 60%; 90%: 87,5%; 100% dan 85%. Efektivitas penurunan COD, BOD, TSS, Amonia, dan Minyak lemak oleh kombinasi tumbuhan Kiambang dan Kangkung yaitu : 75%; 90%; 85%; 100%; dan 87,5%. Efektivitas penurunan COD, BOD, TSS, Amonia, dan Minyak lemak oleh kombinasi tanaman Eceng Gondok dan Kangkung yaitu : 60%; 90%; 95%; 95%; dan 87,5%. Efektivitas penurunan COD, BOD, TSS, Amonia, dan Minyak lemak oleh kombinasi</p>	

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			tumbuhan Eceng Gondok, Kiambang dan Kangkung yaitu : 75%; 90%; 80%; 100%; dan 85%.	
5	Ryanita, dkk (2020)	Mengetahui penurunan pH, kadar COD, BOD, TSS dan minyak-lemak air limbah domestik dengan Fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok, Kayu apu, kangkung air dan paku air.	Penurunan pH oleh tanaman Eceng gondok, Kayu apu, Kangkung air, Paku air yaitu berturut-turut 1,25; 1,75; 1,5; dan 1,5. Penurunan kadar COD oleh tanaman Eceng gondok, Kayu apu, Kangkung air, paku air yaitu berturut-turut yaitu 160 mg/L, 180 mg/L, 100 mg/L, dan 200 mg/L. Penurunan BOD oleh tanaman Eceng gondok, Kayu apu, Kangkung air, paku air yaitu berturut-turut yaitu 80 mg/L, 110 mg/L, 50 mg/L,	Tujuan penelitian, parameter pengujian, pemilihan variasi jenis tanaman.

No	Nama Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			<p>dan 140 mg/L. Penurunan TSS oleh tanaman Eceng gondok, Kayu apu, Kangkung air, paku air yaitu berturut-turut yaitu 234 mg/L, 222,2 mg/L, 181 mg/L, dan 241, 6 mg/L. Terakhir penurunan kadar minyak lemak oleh tanaman Eceng gondok, Kayu apu, Kangkung air, paku air yaitu berturut-turut yaitu 26,62 mg/L; 32,34 mg/L; 16,96 mg/L; dan 46,76 mg/L</p>	

2.2 Teori- teori yang relevan

2.2.1 Air Limbah

Air limbah merupakan buangan atau cairan yang berasal dari rumah tangga, industri ataupun tempat-tempat umum lainnya, dengan kandungan bahan-bahan berbahaya bagi kehidupan manusia maupun makhluk hidup lain, juga mengganggu kelestarian lingkungan(Hidayah dan Aditya, 2015). Air limbah atau air buangan

yaitu zat cair yang dibuang, didalamnya terkandung kotoran hewan, manusia, sisa proses industri ataupun sisa-sisa tumbuhan.

1. Golongan air buangan

Berikut penggolongan air buangan berdasarkan asalnya:

- a. Air kotor: air buangan yang didalamnya terkandung kotoran manusia, air buangan ini berasal dari kloset atau alat-alat plambing lainnya.
- b. Air bekas: air buangan yang berasal dari bak mandi (*bath tub*), bak dapur, bak cuci tangan dsb.
- c. Air hujan: air buangan yang berasal dari halaman, kebun, atap, dll.
- d. Air buangan khusus: air buangan yang mengandung bahan-bahan berbahaya seperti buangan pabrik, racun, gas, air buangan laboratorium, tempat pemeriksaan di rumah sakit, tempat pengobatan, air buangan mengandung radioaktif, rumah pemotongan hewan, air limbah restoran yang berlemak. Disamping itu air bekas dan air kotor disebut juga air buangan sehari-hari karena berasal dari aktivitas sehari-hari (Khaliq, 2015).

2. Sumber air limbah

Penggolongan air buangan berdasarkan sumbernya sebagai berikut:

- a. Air buangan rumah tangga (*domestic waste water*), pemukiman penduduk merupakan asal dari limbah ini. Didalamnya terdapat kandungan ekskreta (tinja dan air seni), air bekas kamar mandi dan cucian, yang secara umum berisi bahan organik.
- b. Air buangan industri (*Industrial wastewater*), berasal dari proses produksi di berbagai industri. Kandungan zat dalam limbah industri bervariasi sekali tergantung pada bahan baku yang digunakan.
- c. Air buangan kotapraja (*Municipal Wastewater*) memiliki kandungan yang hampir sama dengan air buangan rumah tangga, untuk sumber air limbah ini bersumber dari daerah perdagangan, perkotaan, hotel, tempat-tempat umum, restoran, tempat ibadah dan lain sebagainya.

3. Karakteristik air limbah

Air limbah memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Karakteristik fisik
Karakteristik fisik terdiri dari warna, bau, dan bagian-bagian kecil padatan tersuspensi.
 - b. Karakteristik kimiawi
Karakteristik kimiawi ditandai dengan adanya campuran zat-zat kimia anorganik hasil dari penguraian urine, tinja, dan sampah-sampah lainnya. Salah satu tanda adanya kandungan zat kimia yaitu limbah baru cenderung bersifat basa, tetapi bersifat asam saat mengalami pembusukan.
 - c. Karakteristik bakteriologis
Air limbah dengan kandungan bakteri patogen dan organisme golongan *coli* (Lestari, 2012).
4. Komposisi air limbah
- Berikut ini komposisi yang terkandung dalam air limbah diantaranya:
- a. Tinja (*faeces*), terdapat kandungan bakteri patogen.
 - b. Air seni (*urine*), nitrogen dan fosfor sebagai kandungan umum *urine*, serta sebagian kecil mikroorganisme.
 - c. *Grey Water*, terdiri dari air cucian dapur, kamar mandi, dan mesin cuci.
 - d. *Black Water*, terdiri dari campuran *faeces* dan *urine* yang bertemu dengan air bilasan toilet (Mubin dkk., 2016).

2.2.2 Air Limbah Domestik

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang baku mutu air limbah, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Limbah domestik ialah seluruh buangan yang berasal dari kamar mandi, kakus, dapur, tempat mencuci pakaian, tempat mencuci alat-alat rumah tangga, apotek, rumah sakit, rumah makan dan lain-lain. Dimana secara kuantitatif limbah tadi berasal dari zat organik baik berupa zat padat maupun cair, bahan berbahaya, beracun, garam terlarut, dan bakteri terutama golongan fekal coli, jasad pathogen, juga parasite

(Khaliq, 2015). Air limbah domestik secara umum memiliki sifat yang terbagi atas tiga karakteristik yaitu, karakteristik fisik, kimia, dan biologi (Mubin dkk., 2016).

1. Karakteristik fisik

a. Padatan (*Solid*)

Kandungan limbah cair dapat berupa material kasar maupun material yang bersifat koloid. Zat padat dalam limbah cair selalu dihilangkan sebelum dilakukan analisis.

b. Bau (*Odor*)

Pembusukan dalam air limbah ditandai dengan adanya bau. Hasil samping pembusukan bahan organik, gas terlarut dan bahan volatile dalam air limbah inilah yang menimbulkan bau.

c. Warna (*Color*)

Warna pada air limbah pada umumnya disebabkan oleh zat organik dan algae. Warna air limbah abu-abu menunjukkan bahwa limbah tersebut baru.

d. Suhu (*Temperature*)

Temperatur udara biasanya akan lebih rendah dari temperatur limbah cair. Pengaruh dari temperatur yang tinggi pada air limbah yang langsung dibuang ke badan air yaitu dapat mengurangi spesies ikan juga meningkatkan reaksi kimia.

e. Kekeruhan (*Turbidity*)

Kekeruhan membatasi pencahayaan dan merupakan sifat optis air. Penyebab kekeruhan dalam air adalah adanya zat-zat koloid yang melayang juga zat-zat lain yang terurai dalam bentuk tersuspensi. Tetapi tidak ada hubungan secara langsung antara kekeruhan dan kadar semua jenis zat suspensi, karena tergantung pada bentuk butir dan ukuran.

2. Karakteristik kimia

a. Parameter organik

1) *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD ialah suatu Analisa empiris untuk mengetahui secara umum kebenaran terjadinya proses-proses mikrobiologis dalam air. Angka BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk menguraikan Sebagian zat-zat organik tersuspensi dan semua zat-zat organik terlarut dalam air.

2) *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD untuk mengetahui kebutuhan oksigen (mg O₂) dalam mengoksidasi zat-zat organik di 1 liter air sampel, dengan penggunaan sumber oksigen (*Oxidizing agent*) K₂Cr₂O₇ sebagai pengoksidasi. Angka COD adalah ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang dapat teroksidasi melalui proses mikrobiologis dan menyebabkan turunnya oksigen terlarut dalam air.

3) Protein

Kandungan dalam protein yaitu karbon, hydrogen, dan oksigen dengan bobot molekul yang tinggi. Protein memiliki struktur kimia yang kompleks dan mudah terurai, juga sebagian larut dalam air.

4) Karbohidrat

Macam-macam karbohidrat diantaranya: gula. Selulosa, pati dan benang benang kayu yang tersusun atas unsur karbon, hydrogen, dan oksigen. Dalam limbah cair, gula terdekomposisi oleh enzim dari bakteri tertentu dan ragi sehingga terjadi proses fermentasi dan menghasilkan alkohol dan gas CO₂.

5) Minyak dan lemak

Minyak merupakan lemak yang bersifat cair, relative stabil, tidak larut dalam air dan tidak mudah terdekomposisi oleh bakteri.

6) Deterjen

Fungsi utama deterjen yaitu sebagai pembersih dalam pencucian, untuk memisahkan tanah, lemak, dan lainnya. Deterjen sebagai bahan organik yang banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga, rumah sakit dan hotel.

b. Parameter anorganik dan gas

1) pH

pH netral adalah pH yang baik bagi air limbah, jika air limbah memiliki pH kecil maka akan bersifat asam. Air limbah yang memiliki pH besar/kecil dapat menyulitkan proses biologis air sehingga penjernihan dalam air terganggu.

2) Alkalinitas (Kebasaan)

Hasil dari hidroksi karbonat dan bikarbonat yang berupa kalsium, magnesium, sodium, potassium atau amoniak disebut dengan kebasaaan. Secara umum air limbah bersifat basa yang berasal dari penyediaan air, air tanah, dan bahan tambahan lain selama di pergunakan di rumah.

3) Logam

Kandungan logam dalam air limbah diantaranya air raksa (Hg), besi (Fe), tembaga (Cu), seng (Zn), cadmium (Cd), kromium (Cr), timbal (Pb), magnesium (Mg) dan nikel (Ni) sangat penting diketahui karena apabila berlebihan akan bersifat racun.

4) Gas

Oksigen merupakan salah satu gas yang terdapat dalam air dan keberadaanya sangat penting. Oksigen terlarut digunakan oleh mikroorganisme aerob untuk bernafas juga untuk menunjang kehidupan lainnya. Kemunculan bau yang tidak sedap sebab unsur karbon berubah menjadi metana termasuk CO₂ dan sulfur. Belerang menjadi ammonia atau teroksidasi menjadi nitrit adalah salah satu tanda bahwa oksigen dalam kadar yang rendah.

5) Nitrogen

Nitrogen dalam limbah cair terdiri dari gabungan bahan-bahan protein dan urea. Umur air buangan secara relatif dapat ditunjukkan dengan adanya jumlah ammonia, hal ini terjadi karena nitrogen diuraikan oleh bakteri secara cepat dan diubah menjadi ammonia.

6) Phosphor

Phosphor digunakan sebagai tolak ukur kualitas perairan karena phosphor merupakan komponen yang menyuburkan algae dan organisme biologi lainnya.

3. Karakteristik Biologi

Kandungan mikroorganisme air limbah memiliki peranan penting dalam pengelolaan air limbah secara biologi. Disamping itu ada juga mikroorganisme yang membahayakan bagi kehidupan manusia diantaranya bakteri, jamur, protozoa dan algae.

2.2.3 Kandungan Limbah Domestik Politeknik Negeri Cilacap

Secara garis besar berikut kandungan air limbah Politeknik Negeri Cilacap:

2.2.3.1 Deterjen

Politeknik Negeri Cilacap terdiri dari beberapa bangunan Gedung, mulai dari mushola, Perpustakaan, Aula, jurusan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Informatika, Jurusan Teknik Pengendalian Pencemaran lingkungan, Ruang Genset, logistik, Laboratorium lingkungan, dan Kantin. Hampir semua Gedung di Politeknik Negeri Cilacap menghasilkan limbah dengan kandungan deterjen, dari hasil mencuci tangan dan kegiatan kebersihan lain. Deterjen merupakan surfaktan anionik yang memiliki gugus alkil (umumnya C_9-C_{15}) atau garam dari sulfat maupun sulfonat berantai Panjang dari natrium ($RSO_3^- Na^+$ dan $ROSO_3^- Na^+$) yang berasal dari derivat minyak bumi atau minyak nabati (*fraksi paraffin dan olefin*)(Rahimah dkk., 2016). Deterjen juga didefinisikan sebagai produk pembersih atau pencuci yang mengandung beberapa komponen diantaranya surfaktan yang memiliki sifat penghilang kotoran dengan proses fisika-kimia, seperti *Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)* dan *Alkyl Benzene Sulfonate (LAS)*. LAS lebih mudah terdegradasi secara biologi dibandingkan ABS. Persentase kandungan deterjen yaitu, surfaktan 20-30%, senyawa fosfat (bahan builder) 70-80% dan bahan aditif (pewangi, pemutih) sekitar 2-8%(Ramadhanur & Sari, 2015).

2.2.3.2 Minyak Dan Lemak

Kantin Politeknik Negeri Cilacap melakukan kegiatan yang meliputi transaksi jual beli, pengolahan bahan mentah menjadi siap makan, pencucian peralatan masak dan makan. Kegiatan memasak yang dilakukan menggunakan minyak goreng kelapa sawit yang diperoleh dari *palm oil* (daging buah kelapa sawit). Minyak kelapa sawit memiliki komposisi minyak jenuh yang berimbang dengan komponen terbesarnya asam palmitat 39,8 % dan asam oleat 42,5 % (Ayucitra dkk., 2011). Minyak goreng yang digunakan sebaiknya tidak dilakukan berulang lebih dari 3 kali, untuk mencegah terjadinya penumpukan kotoran. Semakin sering minyak goreng digunakan maka kadar asam lemak bebas dalam minyak tersebut semakin tinggi. Minyak goreng yang digunakan berulang kali sering disebut minyak jelantah. Minyak jelantah memiliki ciri-ciri warna tidak jernih, terlihat kecoklatan atau bahkan kehitaman (Novitriani & Intarsih, 2013). Pembuangan limbah yang mengandung minyak bekas ke lingkungan akan menimbulkan pencemaran karena sifat lipid yang tidak larut dalam air dapat menyebabkan penumpukan pada saluran pembuangan. Disamping itu, dapat memicu gangguan pada ekosistem lingkungan yang terdampak pembuangan limbah yang mengandung minyak (Adhani & Fatmawati, 2019).

2.2.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Acuan baku mutu air limbah yang digunakan yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 2. Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
Minyak & Lemak	mg/L	5

2.2.5 Pengolahan Limbah Domestik

Pengolahan air limbah dengan kandungan bahan organik bisa dilakukan secara biologis baik aerob, anaerob atau gabungan dari keduanya (Hidayah & Aditya, 2015). Pengolahan air limbah disesuaikan dengan jenis air limbah dan karakteristik limbah itu sendiri. Tujuan dari pengolahan air limbah yaitu untuk menghilangkan dan/ atau mengurangi kontaminasi yang ada dalam air limbah, sehingga aman apabila langsung dibuang ke lingkungan. Pada prinsipnya pengolahan air limbah domestik dapat melalui 2 proses fisik atau proses biologi, juga bisa dari kombinasi 2 proses tersebut.

1. Pengolahan air limbah melalui proses fisik

Proses pengolahan limbah secara fisik bisa melalui cara sedimentasi, filtrasi, adsorpsi dan flotasi. Pengolahan air limbah secara fisik biasanya menggunakan cara sedimentasi. Sedimentasi adalah proses yang memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengendapkan padatan tersuspensi sehingga padatan dan cairan dapat terpisah. Filtrasi adalah pemanfaatan media penyaringan, atau septum untuk menahan zat padat yang terkandung dalam fluida dan dihasilkan fluida bebas partikel padat. Flotasi adalah proses pengolahan air limbah yang memisahkan partikel padat rendah densitas dengan memanfaatkan daya apung. Adsorpsi adalah proses pengolahan air limbah dengan menambahkan adsorben agar terjadi penumpukan materi pada *interface* antara adsorben dan zat kontaminan (Parahita, 2018).

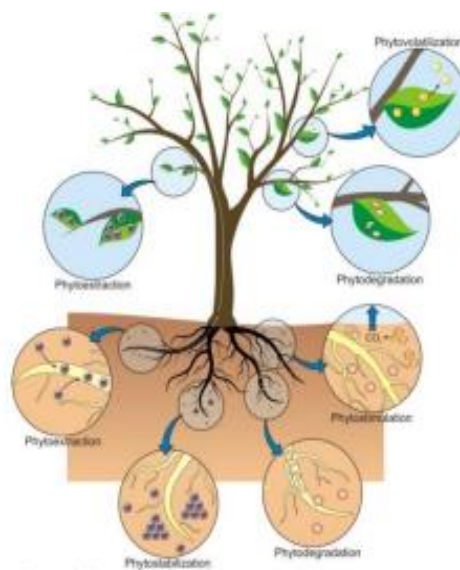
2. Pengolahan air limbah melalui proses biologi

Pengolahan air limbah melalui proses biologi dibagi menjadi 2 macam yaitu biologis aerob dan biologis anaerob. Biologis aerob secara umum dibagi menjadi 3 yaitu biologis dengan biakan melekat (*attached growth*), biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended growth*) dan biologis dengan sistem kolam atau *lagoon*. Sedangkan biologis anaerob terdiri dari beberapa contoh teknologi yang sering digunakan diantaranya: *trackling filter* atau *rotating biological contactor (RBC)*, aerasi kontak (*contact aeration/*

oxidation). Air limbah dengan beban BOD yang tinggi diolah dengan proses pengolahan biologi anaerob(Prakoso, 2016).

2.2.6 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah penggunaan media tanaman untuk memperbaiki berbagai jenis media yang tercemar. Fitoremediasi merupakan suatu sistem dimana tanaman bekerjasama dengan mikroorganisme dalam sebuah media (air, tanah dan koral) untuk mengubah zat kontaminan menjadi tidak atau kurang berbahaya sehingga menjadi bahan yang berguna secara ekonomi(Muhsinin, 2019). Teknologi fitoremediasi dapat dilakukan secara setempat (*in site*) atau terpusat (*off site*). Pengolahan air limbah secara setempat yaitu pengolahan air limbah yang dilakukan di tempat pembuangan limbah tanpa adanya pemindahan tempat pengolahan, sedangkan pengolahan air limbah terpusat yaitu air limbah dikumpulkan kemudian disalurkan pada tempat pengolahan. Kontaminan organik yang dapat di remediasi diantaranya kondensasi gas, senyawa mudah meledak, hidrokarbon, pestisida, *crude oil*, dan senyawa klor. Kontaminan anorganik yang dapat diremediasi yaitu senyawa radioaktif, salinitas, metaloid dan logam berat (Sitoresmi, 2015).



Sumber: (Muhsinin, 2019)

Gambar 2. 1. Mekanisme Fitoremediasi

Berdasarkan gambar 2.1 berikut mekanisme tumbuhan dalam meremediasi polutan:

- a. *Phytovolatilization*, pengambilan kontaminan tanah oleh tanaman, mengubahnya menjadi bentuk yang mudah dipindahkan / diuapkan ke atmosfer (Sukono dkk., 2020). *Phytovolatilization*, proses transpirasi dan menarik kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya untuk selanjutnya diuapkan.
- b. *Phytodegradation (phytotransformation)*, merupakan proses perombakan molekul kontaminan kompleks menjadi lebih sederhana dengan kandungan bahan yang tidak berbahaya dan dapat berguna untuk pertumbuhan tanaman itu sendiri. Enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri dapat membantu proses *Phytodegradation* yang berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar (Muhsinin, 2019).
- c. *Phytostimulation*, senyawa mikroba yang berada disekitar akar tumbuhan dilepaskan (Muhsinin, 2019).
- d. *Phytostabilization*, menempelnya zat-zat kontaminan pada akar yang tidak mungkin terserap masuk ke dalam akar. Zat-zat tersebut menempel dengan erat sehingga tidak terbawa oleh aliran air dalam media (Muhsinin, 2019).
- e. *Phytoextraction*, merupakan proses pengilangan senyawa atau unsur berbahaya dari tanah atau air oleh tumbuhan, melalui akar maupun daun (Muhsinin, 2019).
- f. *Rhizofiltration*, kegunaan utamanya untuk memulihkan air limbah, air tanah yang diekstraksi, dan air permukaan dengan kandungan kontaminan rendah. Metode ini merupakan metode penyerapan atau adsorpsi atau pengendapan ke akar tanaman, kontaminan dalam bentuk larutan yang berada di sekitar akar. *Rhizofiltration* hampir mirip dengan *phytoextraction*, hanya saja tanaman yang digunakan utamanya untuk mengatasi air tanah yang terkontaminasi (Sukono dkk., 2020).

2.2.7 Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) masuk dalam golongan gulma perairan yang dapat berkembang dengan cepat dan menyesuaikan diri terhadap

perubahan lingkungan. Tanaman ini dapat hidup di daerah subtropis maupun tropis. Perairan dangkal dan keruh, pH berkisar antara 4-12 kondisi suhu 20-30°C merupakan tempat tumbuh yang ideal bagi eceng gondok. Perairan yang jernih dan dalam di dataran tinggi, tanaman ini sulit tumbuh. Eceng gondok memiliki kemampuan menyerap air dan melalui proses evaporasi mengusapkannya ke udara. Keunggulan yang dimiliki eceng gondok diantaranya dalam kegiatan fotosintesis, penyerapan sinar matahari dan penyediaan oksigen. Bagian dinding permukaan daun, batang dan akarnya memiliki lapisan yang peka sehingga mampu menyerap sinar matahari dan zat-zat yang larut di bawah permukaan air meskipun di kedalaman ekstrim sampai 8 meter dibawah permukaan air. Eceng gondok dapat mengapung dipermukaan air karena memiliki kantung-kantung udara di bagian daun, batang dan akar. Keunggulan lain dari eceng gondok yaitu mampu menyerap pencemar fosfor dan nitrogen, berpotensi digunakan sebagai komponen utama pembersih air limbah dari rumah tangga dan industri(Ratnani dkk., 2011).



Sumber: (Ratnani dkk., 2011)

Gambar 2. 2. Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*)

Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) yang ditunjukkan pada gambar 2.2 memiliki klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Sub Kingdom	: <i>Viridiplantae</i>
Super Divisi	: <i>Embryophyta</i>
Divisi	: <i>Tracheophyta</i>

Kelas : *Magnoliopsida*
Super Ordo : *Liliana*
Ordo : *Commelinales*
Famili : *Pontederiaceae*
Genus : *Eichhornia*
Spesies : *Eichhornia crassipes*

Eceng gondok termasuk tanaman yang memiliki akar serabut, bunga majemuk berwarna ungu, daun berbentuk oval dengan permukaan licin, tetapi eceng gondok tidak memiliki batang sejati, eceng gondok mampu tumbuh dengan ketinggian 0,4-0,8 m. Eceng gondok dalam waktu kontak 6 hari efektif untuk mengolah air limbah. Eceng gondok memiliki kemampuan penyerapan senyawa organik, unsur hara dan senyawa lain dalam jumlah yang besar (Zahro & Nisa', 2020).

2.2.8 Kiambang (*Salvinia cucullata*)



Sumber: Dokumentasi Pribadi

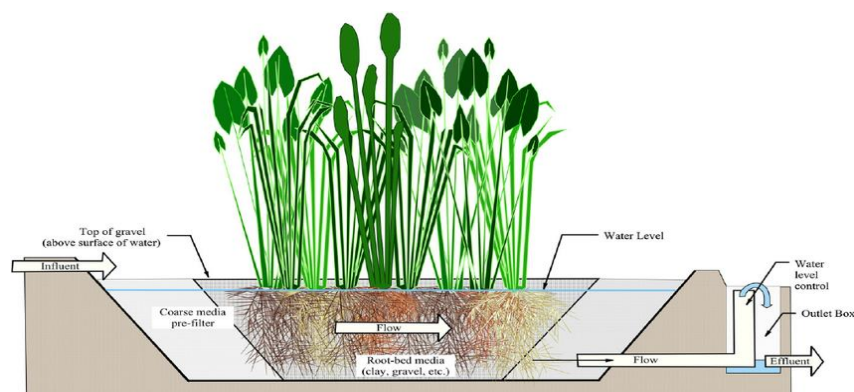
Gambar 2. 3. Kiambang (*Salvinia cucullata*)

Tanaman Kiambang (*Salvinia cucullate*) yang ditunjukkan pada gambar 2.3 memiliki klasifikasi sebagai berikut:

- Kingdom : *Plantae*
- Subkingdom : *Tracheobionta*
- Devisi : *Pteridophyta*
- Kelas : *Filicopsida*
- Ordo : *Hidropteridales*
- Family : *Salviniaceae*
- Genus : *Salvinia*
- Spesies : *Salvinia cucullata* (Mustafa & Hayder, 2021).

Kiambang (*Salvinia cucullata*) adalah tumbuhan perairan yang mengapung bebas. Memiliki akar serabut yang menggantung dengan kisaran panjang 2-7 cm. Daun berwarna hijau muda bagian bawah dipenuhi bulu-bulu pendek berwarna coklat dan bagian atas permukaan terdapat rambut halus untuk menjaga agar daun tidak basah (Suraya, 2019). Kiambang banyak ditemui di kawasan berair seperti paya-paya air tawar, kolam dan danau. Kiambang dapat digunakan untuk pengolahan limbah karena tingkat pertumbuhan yang tinggi dan kemampuan untuk menyerap nutrisi langsung dari kolom air. Akar merupakan tempat filtrasi dan adsorpsi padatan tersuspensi juga pertumbuhan mikroba yang dapat menghilangkan nutrisi dari air.

2.2.9 Rawa Buatan (*Wetland*)



Sumber: (White, 2013)

Gambar 2. 4. *Wetland*

Penggunaan tumbuhan dalam *wetland* telah digunakan di beberapa negara sebagai alternatif pengolahan air limbah (Hidayah & Aditya, 2015). *Wetland* memanfaatkan simbiosis mikroorganisme di akar tanaman dan dalam tanah. *wetland* menjadi solusi pengolahan air limbah dengan kendala teknis, biaya, juga operasional sistem. Hal ini dikarenakan metode *wetland* tidak memerlukan pemeliharaan dan operasional dengan biaya yang tinggi sebab berlangsung secara alamiah (Usman & Santosa, 2014). *Wetland* merupakan tempat pengolahan air limbah dengan meniru proses penjernihan air di rawa atau lahan basah. Lahan basah memerlukan tumbuhan (hidrophita) yang berperan penting dalam penjernihan air. Dalam pertumbuhan tanaman di lahan basah, tanaman mengambil unsur hara agar tanaman tumbuh sekaligus mengurangi beban pencemar dalam air. Tanaman yang digunakan disesuaikan dengan sistem *wetland* yang digunakan. Tanaman yang telah diteliti penggunaannya dalam sistem *wetland* diantaranya: *Typha latifolia*, *Cyperus alternifolius*, *Alisma plantago*, *Scripus*, *Phragmites australis*, dan lain-lain (Sutyasmi & Susanto, 2013). *Wetland* adalah pengolahan alami yang termasuk didalamnya proses filtrasi, adsorpsi, sedimentasi, transfer gas, pengolahan kimia dan biologi sebagai akibat dari aktivitas tanaman dan mikroorganisme dalam tanah. Faktor utama pengolahan air limbah sistem *wetland*:

1. Area tumbuh yang tergenang oleh air dan mendukung pertumbuhan tanaman air (*hydrophyta*).
2. Media tumbuh yang basah atau selalu tergenang air.
3. Media tumbuh yang digunakan dapat berupa media yang jenuh dengan air sebagai pengganti tanah (Hadiwidodo dkk., 2012)

2.2.10 Jenis Rawa Buatan (*Wetland*)

a. Aliran permukaan (*Surface flow wetlands*)

Prinsip kerja dari *Surface flow wetlands* yaitu dengan memanfaatkan simbiosis antara mikroorganisme akar dengan tumbuhan air. Bahan organik yang terkandung dalam air limbah dijadikan nutrient (makanan) bagi mikroorganisme. Sedangkan sistem perakaran tumbuhan dijadikan sumber energi/katalis dalam rangkaian proses kehidupan mikroorganisme

karena akar menghasilkan oksigen (Mutiara dkk., 2015). Rawa buatan tipe ini ditandai dengan bentuk rawa yang Panjang dan sempit untuk mengurangi aliran yang singkat (Lestari, 2012).

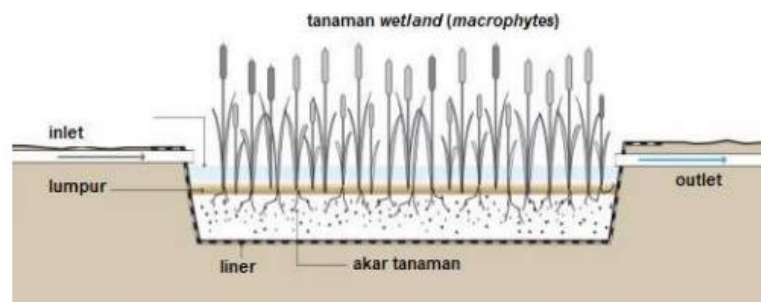
b. Aliran bawah permukaan (*Subsurface flow wetlands*)

Constructed wetland dengan jenis aliran bawah permukaan dapat berupa kolam dangkal dimana susunan didalamnya berupa media porous (batu/kerikil), pasir, atau tanah yang membantu dalam proses penyaringan limbah cair. Air limbah mengalir melalui zona perakaran tanaman di antara pasir atau kerikil secara horizontal. Pengolahan air limbah dengan menggunakan jenis aliran *Subsurface flow wetlands* terjadi melalui 2 proses yaitu absorpsi polutan oleh tanah dan filtrasi oleh mikroorganisme. Penghilangan beban organik dalam air limbah dipengaruhi 2 faktor yaitu transfer O₂ dan waktu tinggal (Lestari, 2012).

2.2.11 Tipe Rawa Buatan (*Wetland*)

Pengembangan tipe *wetland* dengan maksud untuk meningkatkan kapasitas pengolahan sistem. Secara umum tipe *constructed wetland* yang digunakan secara luas sebagai berikut:

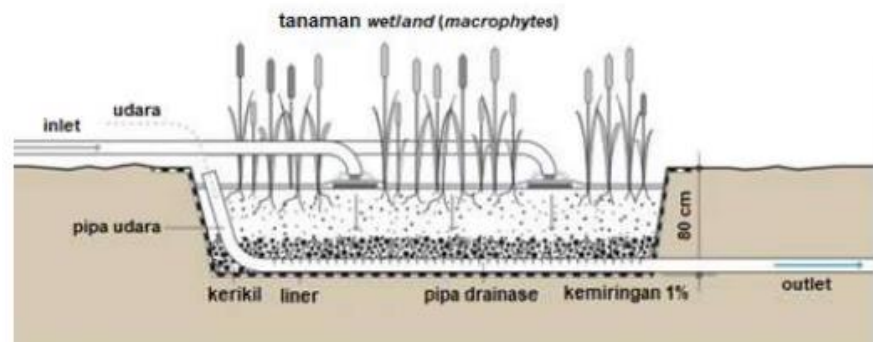
- a. *Free Water Surface wetland* (FWS) menyerupai rawa alami dimana memiliki permukaan air yang terbuka. FWS merupakan sebuah kolam dangkal yang berisi tanah atau media lain sebagai tempat tumbuh vegetasi. Sistem FWS dirancang untuk mensimulasikan lahan basah alami, dengan air mengalir di atas permukaan media tumbuh dimana ketinggian air dijaga antara 10-45 cm.



Sumber : Buku A IPLT

Gambar 2. 5. Skema *Free Water Surface Wetland*

- b. *Vegetated Submerged Bed wetland* (VSB), jenis aliran pada tipe ini berupa aliran bawah permukaan, dimana air limbah mengalir melalui bagian bawah media dari inlet ke outlet. Kerikil atau tanah menjadi media melekatnya vegetasi yang umum digunakan.
- c. *Vertical flow wetland* (VF), air limbah mengalir di antara media pasir atau tanah yang ditumbuhi vegetasi. Aliran air limbah tidak dilakukan secara kontinyu. Melainkan intermiten. Aliran air limbah berawal dari bawah ke atas melewati akar tumbuhan. Material dan nutrien organik diabsorpsi oleh mikroorganisme. Jeda pengisian air limbah mengakibatkan terjadinya fase biomassa mengalami waktu lapar sehingga porositas meningkat dan pertumbuhan menurun (Prakoso, 2016).



Sumber : Buku A IPLT

Gambar 2. 6. Skema *Vertical flow wetland*