

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengelolaan Sampah

Sampah adalah barang yang dianggap sudah tidak terpakai dan dibuang oleh pemilik atau pemakai sebelumnya, tetapi bagi sebagian orang masih bisa dipakai jika dikelola dengan prosedur yang benar (Nugroho, 2013). Pada Undang-undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, dijelaskan bahwa sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah yang diolah berdasarkan Undang-undang yaitu:

- a. Sampah rumah tangga, berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
- b. Sampah sejenis rumah tangga, berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan lainnya.
- c. Sampah spesifik, berasal dari sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun, sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun yang timbul akibat bencana, puing bongkaran bangunan, dan lainnya.

Faktor yang menyebabkan penumpukan sampah adalah volume sampah yang sangat besar sehingga melebihi kapasitas daya tampung tempat pembuangan sampah akhir (TPA). Volume sampah yang sangat banyak ini bisa disebabkan oleh beberapa hal seperti jumlah penduduk yang tiap tahun semakin bertambah, semakin banyaknya penggunaan barang sekali pakai, dan adanya kemajuan teknologi yang pesat menyebabkan penyumbangan jumlah timbulan sampah yang ada, hal ini dikarenakan semakin bervariasinya bahan baku yang digunakan dapat menambah jumlah dan jenis timbulan yang dihasilkan (Hidayat M.A, 2015).

Di Indonesia, permasalahan sampah merupakan hal yang krusial dan sulit terselesaikan. Hampir di semua kota di Indonesia masih mengalami kendala dalam mengolah sampah, bahkan beberapa TPS di tiap kota masih belum bisa menerapkan teknologi pengolahan TPS-3R, sehingga sampah yang sampai di TPA adalah campuran sampah organik dan anorganik. Masyarakat Indonesia skeptis pada pemilahan sampah, dikarenakan meskipun mereka sudah memilah sampah, nantinya petugas sampah juga mencampur lagi sampah-sampah yang dipisah ke dalam truk sampah atau gerobak sampah (Setiadi Rukuh, 2020).

Menurut Swadaya (2008), konsep dari pengelolaan sampah terpadu terdiri dari beberapa tahapan, yakni cegah atau *reduce* (mencegah atau meminimalisir penggunaannya), *reuse* (memperpanjang masa pemakaian atau memanfaatkan kembali), *recycle* (mendaur ulang sampah menjadi barang baru), *energy recovery* (menangkap energi yang ada pada sampah atau menjadikan sampah menjadi sumber energi alternatif), *disposal* (membuang sampah merupakan alternatif terakhir jika memang segala cara yang sudah disebutkan tadi telah dioptimalkan).

Berikut ini merupakan pengolahan sampah terpadu yang dapat dilakukan oleh masyarakat.

1) *Integrated Rubbish Managing*

Sistem Pengelolaan Sampah Terpadu merupakan sistem yang mengkombinasikan berbagai cara pengelolaan sampah seperti daur ulang, *recycling center*, pengomposan, perubahan *image* pemulung, pembuatan kerajinan sampah, sampai dengan pengadaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (TPSA) (Sejati, 2009)

2) Sistem *Node*, *Sub Point*, dan *Centre Point*

Sistem ini merupakan inovasi dari sistem pengolahan sampah secara terpadu dan profesional, caranya adalah dengan melakukan pembagian area berdasarkan *centre*, *sub point*, dan *node*. Pengolahan yang dimaksud disini adalah mengubah sampah-sampah organik

yang telah dikumpulkan menjadi bahan daur ulang yang siap pakai (Sejati, 2009).

4) Pengelolaan Sampah dengan Sistem Mandiri dan Produktif

Pengelolaan sampah yang melibatkan peran serta masyarakat untuk bersama-sama mengelola sampah. Sistem ini menekankan kemandirian masyarakat dalam mengelola sampah yang mereka hasilkan, dan tidak harus bergantung pada pemerintah terkait dengan pemberdayaan masyarakat maka diperlukan beberapa hal penting diantaranya menumbuhkan rasa inisiatif lokal, menguatkan partisipasi masyarakat, membangun kerjasama dengan para *stakeholder* (Rahmawati, dkk, 2017). Selain itu sistem ini menekankan pada pentingnya memilah dari rumah tangga, yaitu dengan tiga kantong tempat sampah. Setiap rumah tangga memisahkan sampah sesuai jenisnya, seperti sampah plastik, kertas, dan kaleng. Sampah bungkus atau sachet dimanfaatkan menjadi produk daur ulang seperti tas, dompet, tempat koran. Sampah anorganik lainnya bisa dijual. Sampah organik yang dihasilkan selanjutnya dimasukkan ke dalam tong atau gentong untuk dijadikan kompos (Tiara, D.R. dan Suyanto, A, 2018).

5) Pengelolaan Sampah dengan Bank Sampah

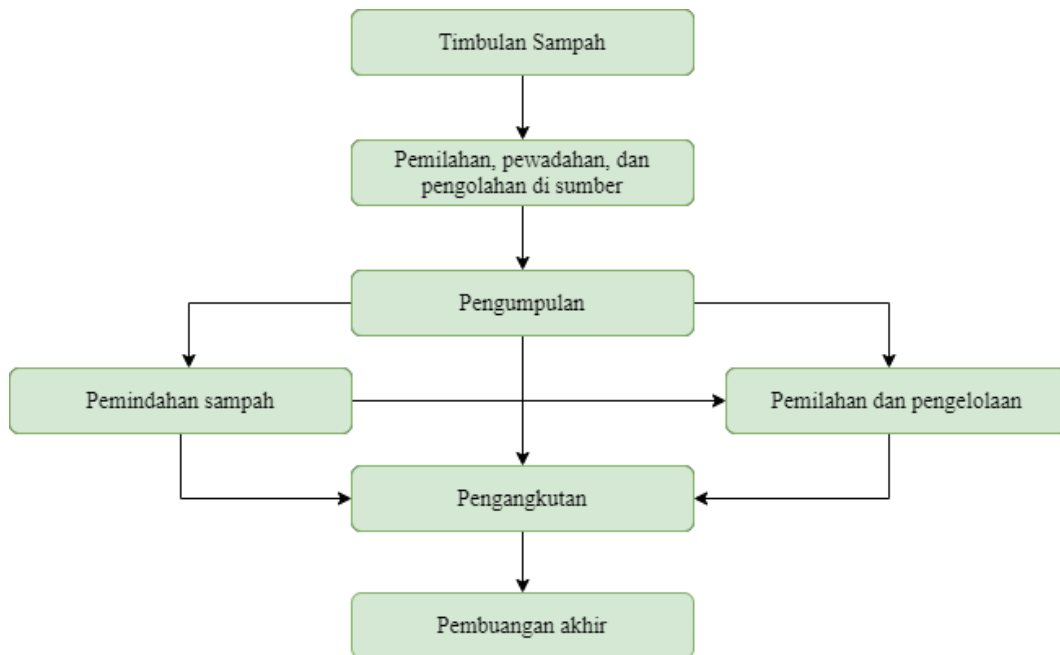
Bank Sampah adalah suatu tempat dimana terjadi kegiatan pelayanan terhadap penabung sampah yang dilakukan oleh *teller* bank sampah. Ruangan bank sampah dibagi dalam tiga ruang atau loker tempat menyimpan sampah yang ditabung sebelum diambil oleh pengepul atau pihak ketiga (Suwerda, 2012). Pada prinsipnya pelayanan di bank sampah sama seperti di bank pada umumnya, bedanya adalah yang ditabung ini adalah sampah. Jadi dari rumah tangga sudah dipilah sesuai jenisnya lalu dibawa ke bank sampah untuk ditabung. Bank sampah juga melakukan pengelolaan sampah dengan memberdayakan masyarakat. Masyarakat diajarkan mendaur ulang sampah, membuat kompos sampai sampah tersebut menjadi

produk yang memiliki nilai ekonomi (Tiara, D.R. dan Suyanto, A, 2018).

Kegiatan penanganan sampah menurut Pasal 22 Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengolahan Sampah, meliputi:

- 1) Pemilahan dalam bentuk pengelompokan dan pemisahan sampah sesuai dengan jenis, jumlah, dan atau sifat sampah.
- 2) Pengumpulan dalam bentuk pengambilan dan pemindahan sampah dari sumber sampah ke tempat penampungan sementara atau tempat pengolahan sampah terpadu
- 3) Pengangkutan dalam bentuk membawa sampah dari sumber dan atau dari tempat penampungan sampah sementara atau dari tempat pengolahan sampah terpadu menuju ke tempat pemrosesan akhir.
- 4) Pengolahan dalam bentuk mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah.
- 5) Pemrosesan akhir sampah dalam bentuk pengembalian sampah dan atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman.

Teknik operasional pengelolaan sampah perkotaan yang terdiri dari kegiatan pewadahan sampai dengan pembuangan akhir sampah harus bersifat terpadu dengan melakukan pemilahan sejak dari sumbernya. Berikut ini adalah skema teknik operasional pengelolaan sampah menurut SNI 19-2454-2002.



Gambar 1. Diagram Teknik Operasional Pengelolaan Persampahan

(Sumber: SNI 19-2454-2002)

2.2. Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) adalah tempat dimana sampah mencapai tahap akhir setelah dilakukan tahap pengumpulan, pemindahan atau pengangkutan, pengolahan dan pembuangan. Beberapa syarat dalam pembangunan tempat pembuangan akhir adalah tempat pembuangan akhir tidak boleh dibangun dekat dengan sumber air minum atau sumber lainnya yang digunakan oleh manusia, tidak pada tempat yang mudah terkena banjir, dan jauh dari tempat tinggal manusia dengan jarak 2 km dari perumahan penduduk (Azwar, 1983). Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 03/PRT/M/2013, disebutkan bahwa kriteria jarak TPA dengan beberapa kawasan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria Jarak TPA dengan Beberapa Kawasan

Uraian	Kriteria
Jarak TPA/TPST dengan permukiman sekitar	500 m – 1 km
Jarak TPA/TPST dengan sungai, pantai	100 m dari peil banjir 25 tahun
Jarak TPA/TPST dengan lapangan terbang	Harus > 3000 m untuk penerbangan turbo Jet
	Harus > 1500 m untuk jenis lain
Jarak TPA/TPST dengan pusat kota	25 km
Jarak pusat pelayanan	-

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 03/PRT/M/2013

Beberapa TPA di Indonesia masih menerapkan sistem *Open Dumping*. *Open Dumping* dipilih karena biaya operasi yang dikeluarkan sedikit, dan cara pengaplikasiannya yang mudah. Namun, beberapa permasalahan telah timbul akibat sistem *Open Dumping*, menurut (Enri Damanhuri, 1995) yaitu:

a) Pandangan serta Bau yang Tidak Sedap

Sistem *Open Dumping* yaitu sampah dibuang dan dibiarkan terbuka, apabila jumlah timbunan sampah semakin meningkat, selain mengganggu estetika juga akan menimbulkan bau yang tidak sedap.

b) Pencemaran Air Lindi

Tidak adanya pipa-pipa untuk menyalurkan air lindi bisa menyebabkan pencemaran air tanah, dikarenakan air lindi tersebut bisa merembes ke dasar tanah.

c) Kebakaran

Kebakaran terjadi karena ledakan gas metana yang dihasilkan timbunan sampah. Apabila dipasang pipa-pipa untuk menyalurkan energi yang dihasilkan oleh timbunan sampah, tentunya kebakaran tidak akan terjadi.

2.3. Metode Pengelolaan Sampah Akhir

Metode pengelolaan sampah yang digunakan di Indonesia selama ini masih belum berwawasan lingkungan. Sebagian besar pengelolaan sampah di TPA rata-rata menggunakan metode landfill atau open dumping. Selain itu, ada beberapa yang menggunakan metode pembuatan kompos, pemilahan, pembakaran, maupun daur ulang (Winahyu, Hartoyo, & Syaikat, 2013). Namun belum banyak inovasi yang dibuat mengenai pengelolaan sampah, sehingga pengelola TPA berusaha maksimal dengan menggunakan metode yang dianggap paling efektif dengan kondisi TPA.

Menurut Wahid Iqbal dan Nurul C. (2009: 279-280) tentang tahap pengelolaan dan pemusnahan sampah dilakukan dengan dua metode, yaitu:

1) Metode yang Baik

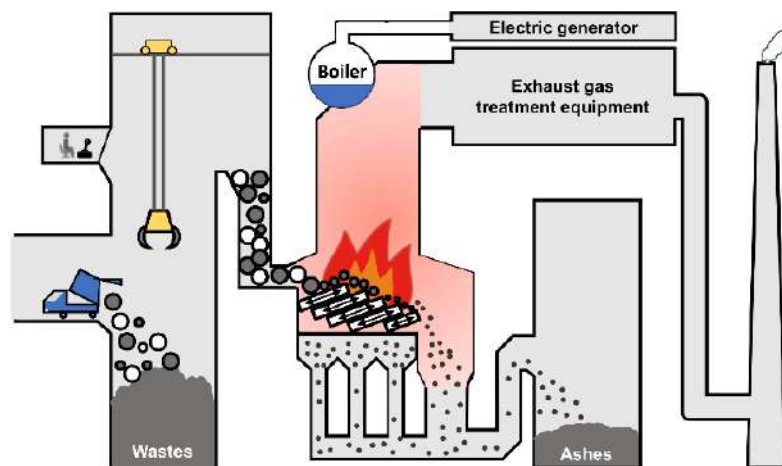
- a. Metode *Sanitary Landfill* (lahan urug saniter), yaitu metode pemusnahan sampah dengan cara menimbun sampah di tanah kemudian ditutup dan dipadatkan. Diperlukan lahan yang luas dan tanah untuk menimbun sampah, serta alat-alat berat untuk memadatkan sampah.



Gambar 2. *Sanitary Landfill*

(Sumber: *A modern sanitary landfill designed to replace Avu and Ihie open dumpsites - Researchgate*)

- b. *Incineration* (dibakar), yaitu metode pemusnahan sampah dengan cara membakar di dalam tungku khusus. Kelebihan menggunakan *incinerator* dapat memperkecil volum sampah sampai satu per tiga, dan tidak memerlukan lahan yang luas, namun kekurangan penggunaan metode ini adalah memerlukan biaya yang besar.



Gambar 3. *Incenerator*

(Sumber: *Learning Deep Dynamical Models of a Waste Incineration Plant from In-furnace Images and Process Data - Researchgate*)

- c. *Composting* (dijadikan pupuk), yaitu mengelola sampah yang ada menjadi pupuk kompos, khususnya untuk sampah organik.



Gambar 4. *Composting*

(Sumber: *Home-Composting: Your Organic Waste Management Solution – Waste4Change*)

2) Metode yang Kurang Baik

- a. Metode *Open Dumping*, yaitu metode pembuangan sampah yang dilakukan dengan cara sampah ditimbun dan dibiarkan terbuka, tanpa dilakukan penutupan. Metode seperti ini sama sekali tidak memperhatikan sanitasi lingkungan. Timbunan menimbulkan bau yang tidak sedap, akibat pembusukan sampah organik.



Gambar 5. *Open Dumping*

(Sumber: *Solid Waste Management System in Pabna Municipality of Bangladesh: A Case Study - Researchgate*)

- b. Metode *Dumping in Water*, yaitu sampah dibuang ke dalam air. Metode seperti dapat menyebabkan rusaknya ekosistem air. Air menjadi kotor dan warnanya berubah, serta dapat menimbulkan penyakit.



Gambar 6. *Dumping in Water*

(Sumber: *Marine pollution, explained - National Geographic*)

c. Metode *Burning on premises (individual inceneration)* yaitu metode pemusnahan sampah dengan cara dibakar di rumah masing-masing.



Gambar 7. *Burning on Premises*

(Sumber: Health implication of Burning Plastic in our
Ghettos/communities and how it affect Human&Animals - African
Climate Reporters)

Sedangkan menurut SNI 19-2454-2002 tentang Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, secara umum teknologi pengolahan sampah dibedakan menjadi 3 metode, yaitu *Open Dumping*, *Sanitary Landfill* (Lahan Urug Saniter), dan *Controlled Landfill* (Penimbunan terkendali). Untuk *Controlled Landfill* merupakan perbaikan atau peningkatan dari cara *Open Dumping* tetapi belum sebaik *Sanitary Landfill*, yaitu sampah ditutup dengan lapisan tanah yang dilakukan setelah TPA penuh yang dipadatkan atau setelah mencapai periode tertentu.

Terdapat beberapa alasan mengapa metode *landfilling* (pengurugan) masih sering digunakan sampai sekarang, diantaranya sebagai berikut:

- a. Tidak semua limbah mempunyai nilai ekonomis untuk di daur ulang.
- b. Teknologi pengolahan limbah seperti incinerator atau kimia tetap menghasilkan residu yang harus ditangani lebih lanjut.
- c. Teknologi pengelolaan limbah seperti reduksi di sumber, daur-ulang, daurpakai atau minimasi sampah, tidak dapat menyingkirkan sampah secara menyeluruh.

Di bawah ini adalah tabel perbandingan kelebihan dan kekurangan antar skema lahan urug yang umumnya digunakan dalam *landfilling*.

Tabel 2. Perbandingan Skema Lahan Urug

Skema Lahan Urug	Kelebihan	Kekurangan
<i>Open Dumping</i>	<ul style="list-style-type: none"> •Teknis pelaksanaan cenderung lebih mudah. •Personil di lapangan relatif sedikit. •Biaya operasi dan perawatan relatif rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terjadi pencemaran udara oleh gas, bau, dan debu. • Pencemaran air tanah yang disebabkan oleh air lindi. • Mengurangi estetika.

Skema Lahan Urug	Kelebihan	Kekurangan
		<ul style="list-style-type: none"> • Lahan yang sudah digunakan tidak dapat digunakan kembali. • Resiko kebakaran besar yang disebabkan oleh gas metana.
<i>Controlled Landfill</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Lahan dapat digunakan kembali setelah digunakan. • Menghasilkan estetika yang cukup baik. 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya operasi dan perawatan yang cukup besar. • Operasi di lapangan cenderung lebih sulit. • Memerlukan personil di lapangan yang terlatih.
<i>Sanitary Landfill</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Timbulan gas metana dan air lindi terkontrol dengan baik, sehingga tidak mencemari lingkungan. • Lahan dapat digunakan kembali. • Fleksibel terhadap fluktuasi jumlah sampah. • Dapat menerima berbagai tipe sampah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi sistem pelapisan dasar (liner) yang rumit • Banyak biaya yang dikeluarkan seperti biaya pipa untuk gas metana, dan biaya pipa untuk air air lindi. • Jika operasi tidak berfungsi maka akan kembali seperti metode <i>open dumping</i>.

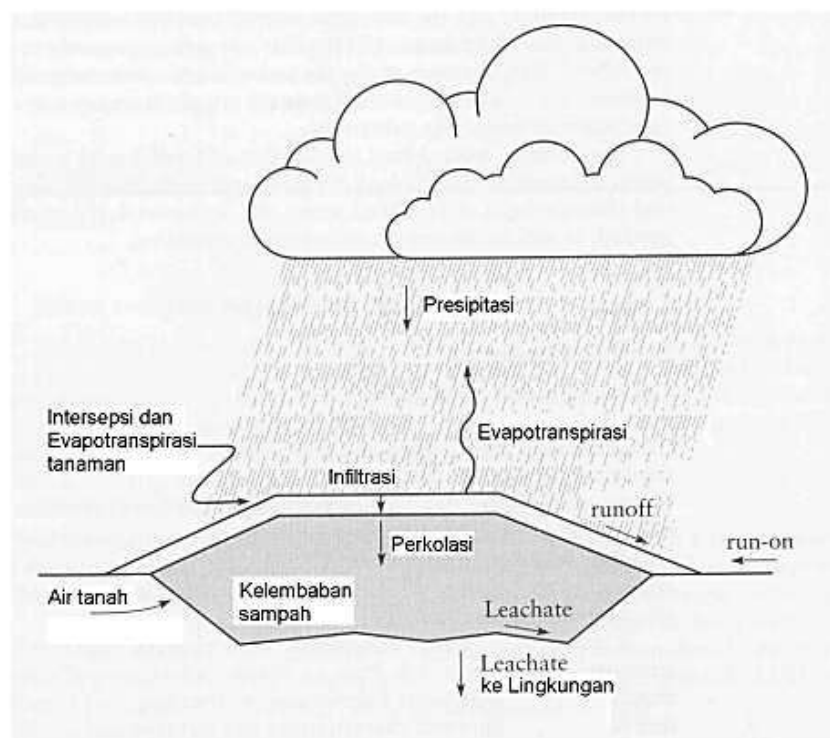
(Sumber: Damanhuri, 2004)

2.4. Lindi (*Leachate*)

Air lindi (*leachate*) merupakan air dengan konsentrasi kandungan organik yang tinggi dan terbentuk dalam landfill akibat adanya air hujan yang masuk ke dalam *landfill*. Air lindi merupakan cairan yang sangat berbahaya,

karena selain kandungan organikya tinggi, juga mengandung unsur logam (Seperti Zn dan Hg). Jika tidak ditangani dengan baik, air lindi dapat terserap ke dalam tanah sekitar landfill kemudian dapat mencemari air tanah di sekitar *landfill* (Arief, 2016).

Air lindi merupakan cairan yang dihasilkan dari timbunan sampah dan dari hasil samping pengolahan sampah organik, anorganik dan mikroorganisme (Rizki, 2014). Sedangkan menurut Aziz (2010), lindi adalah larutan yang terjadi akibat bercampurnya air limpasan hujan (baik melalui proses infiltrasi maupun proses perkolasi) dengan sampah yang telah membusuk dan mengandung zat tersuspensi yang sangat halus serta mikroba patogen air lindi memerlukan perlakuan awal, yaitu dengan menghilangkan kandungan anorganik dalam air lindi. Setelah kandungan inorganik dalam air lindi dapat dihilangkan atau dikurangi, kemudian air lindi dapat diolah lebih lanjut untuk menghilangkan kadar kandungan organikya (Arief, 2016).



Gambar 8. Skema Terjadinya Lindi

(Sumber: Vesilind, 2002 dalam Damanhuri, 2008)

Berdasarkan pada Gambar 8. diatas, dapat diramalkan bahwa kuantitas dan kualitas lindi akan sangat bervariasi dan berfluktuasi. Dapat dikatakan bahwa kuantitas lindi yang dihasilkan akan banyak tergantung pada masuknya air dari luar, sebagian besar dari air hujan, disamping dipengaruhi oleh aspek operasional yang diterapkan seperti aplikasi tanah penutup, kemiringan permukaan, kondisi iklim, dan sebagainya. Kemampuan tanah dan sampah untuk menahan uap air dan kemudian menguapkannya bila memungkinkan, menyebabkan perhitungan timbulan lindi agak rumit untuk diprakirakan.

Air lindi dapat mengandung kontaminan organik dalam jumlah yang besar dan dapat diukur sebagai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *ammonia*. Selain itu, juga terdapat kadar logam yang tinggi yang dapat memberikan efek buruk bagi lingkungan. Oleh karena itu, Ada banyak metode yang digunakan untuk pengolahan air lindi hingga saat ini antara lain penggunaan membran, teknik oksidasi, metode koagulasi-flokulasi, *lagoon*, dan *wetland*. Pengolahan tersebut cenderung lebih mahal dan rumit jika dibandingkan dengan metode elektrokoagulasi. Metode elektrokoagulasi ini merupakan metode yang menjanjikan dalam pengolahan lindi dilihat dari efektifitasnya yang tinggi, biaya perawatan yang rendah, kurang diperlukannya uji laboratorium dan hasil pengolahan yang cepat (Rusdianasari et al., 2016).

Baku mutu lindi adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam lindi yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari kegiatan TPA. Baku mutu lindi ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Baku Mutu Air Lindi

Parameter	Kadar Maksimum
pH	6 – 9
COD	300 mg/L
BOD	150 mg/L
TSS	100 mg/L

Parameter	Kadar Maksimum
Cadmium (Cd)	0,1 mg/L
Merkuri	0,005 mg/L
N Total	60 mg/L

(Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kesehatan RI Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016).

2.5. Parameter Air Lindi

2.5.1. Parameter Fisika

a) Suhu

Perubahan suhu mempengaruhi proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, volatilisasi penurunan kelarutan gas O₂, CO₂, dan N₂ (Effendi, 2003).

b) TSS (*Total Suspended Solid*)

Padatan Total Tersuspensi (TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter >1µm) yang tertahan pada saringan millipore dengan diameter pori 0,45 µm. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Effendi, 2003).

2.5.2. Parameter Kimia

a) pH

Nilai pH menunjukkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion hidrogen akan menunjukkan apakah perairan tersebut bersifat asam atau basa. Nilai pH air lindi pada tempat pembuangan sampah perkotaan berkisar antara 1,5 – 9,5 (Barus, 2002).

b) BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Biochemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam air pada keadaan aerobik yang diinkubasi pada suhu 20°C selama 5 hari, sehingga sering disebut BOD. Nilai BOD₅ ini juga digunakan untuk menduga jumlah bahan organik di dalam air limbah yang dapat dioksidasi dan akan diuraikan oleh mikroorganisme melalui proses biologi (Fathiras, 2011).

c) COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD menyatakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik yang terdapat di perairan, menjadi CO₂ dan H₂O. Pada prosedur penentuan COD, oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan dalam mengoksidasi air sampel (Boyd, 1982). Bila BOD memberikan gambaran jumlah bahan organik yang dapat terurai secara biologis (bahan organik mudah terurai, *biodegradable organic matter*), maka COD memberikan gambaran jumlah total bahan organik yang mudah terurai maupun yang sulit (Hariyadi, 2001).

d) *Cadmium* (Cd)

Cadmium (Cd) adalah salah satu elemen yang beracun. Setelah diserap, Cd secara efisien dipertahankan dalam tubuh manusia, di mana terakumulasi sepanjang hidup. Cd sangat beracun bagi ginjal, terutama pada sel-sel tubular proksimal. Cd juga dapat menyebabkan demineralisasi tulang, baik melalui kerusakan tulang secara langsung atau tidak langsung sebagai akibat dari disfungsi ginjal. Dalam industri, paparan Cd yang berlebihan ke udara dapat mengganggu fungsi paru-paru dan meningkatkan risiko kanker paru-paru (Bernard et al., 2008).

e) *Ammonia Total*

Amonia pada perairan dihasilkan oleh proses dekomposisi, reduksi nitrat oleh bakteri, kegiatan pemupukan dan ekskresi organisme yang ada di dalamnya. Amonia (NH_3) yang disebut juga nitrogen amonia dihasilkan dari pembusukan zat-zat organik oleh bakteri. Setiap amonia yang dibebaskan ke suatu lingkungan akan membentuk reaksi keseimbangan dengan ion amonium (NH_4^+). Amonium ini yang kemudian mengalami proses nitrifikasi membentuk nitrit dan nitrat. Amonia dalam keadaan tidak terdisosiasi akan lebih berbahaya untuk ikan daripada dalam bentuk amonium. Nilai amonia memiliki hubungan dengan nilai pH perairan, yaitu makin tinggi pH air maka makin besar kandungan amonia dalam bentuk tidak terdisosiasi. Kadar amonia yang tinggi dapat merupakan indikasi adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, industri, dan limpasan pupuk pertanian (Effendi, 2003).

f) Besi (Fe)

Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada hampir setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Pada umumnya, besi yang ada di dalam air dapat bersifat (Priambodho, 2005):

1. Terlarut sebagai Fe^{2+} (ferro) atau Fe^{3+} (ferri),
2. Tersuspensi sebagai butiran koloidal (diameter $<1\mu\text{m}$) atau lebih besar, seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan sebagainya,
3. Tergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik.

g) Nitrat

Nitrat adalah bentuk nitrogen utama dalam perairan dan merupakan nutrisi utama bagi tumbuhan dan algae. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil, dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan (Effendi, 2003). Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung dalam kondisi aerob.

h) Sulfat

Sulfat adalah bentuk sulfur utama dalam perairan dan tanah. Di perairan yang diperuntukkan bagi air minum sebaiknya tidak mengandung senyawa natrium sulfat (Na_2SO_4) dan magnesium sulfat (MgSO_4) (Hariyadi et al., 1992). Di perairan, sulfur berikatan dengan ion hidrogen dan oksigen. Reduksi (pengurangan oksigen dan penambahan hidrogen) anion sulfat menjadi hidrogen sulfida pada kondisi anaerob dalam proses dekomposisi bahan organik menimbulkan bau yang kurang sedap dan meningkatkan korosivitas logam (Effendi, 2003).

i) Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) adalah logam berat berbentuk cair, berwarna putih perak, serta mudah menguap pada suhu ruangan. Merkuri (Hg) dapat larut dalam asam sulfat atau asam nitrit, tetapi tahan terhadap basa (Fuadi, A. L, 2017).

Merkuri (air raksa, Hg) adalah salah satu jenis logam yang banyak ditemukan di alam dan tersebar dalam batu-batuan, biji tambang, tanah, air dan udara sebagai senyawa anorganik dan organik. Umumnya kadar dalam tanah, air dan udara relatif rendah. Berbagai jenis aktivitas manusia dapat meningkatkan kadar ini, misalnya aktivitas penambangan yang dapat menghasilkan merkuri

sebanyak 10.000 ton/tahun. Pekerja yang mengalami kontak dengan Merkuri dapat menderita berbagai jenis penyakit yang membahayakan (Fuadi, A. L, 2017).

2.5.3. Parameter Biologi

Parameter kualitas air selain ditentukan oleh parameter fisika dan kimia, juga ditentukan oleh kehadiran jumlah mikroorganisme patogen yaitu bakteri *Coliform*. Bakteri *Coliform* merupakan kelompok bakteri yang mempunyai kemampuan memfermentasi laktosa dan merupakan indikator yang baik tentang adanya kontaminasi tinja (Suriawijaya, 2003). Tempat-tempat pemrosesan akhir (TPA) sampah terutama sampah organik, limbah domestik, dan limbah tinja dan kotoran ternak dapat menjadi sumber bakteri pathogen yang mencemari air.

Bakteri *coli* yang terdapat dalam air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu *faecal coli* seperti *Escherichia coli* adalah bakteri yang bersifat pathogen yang berasal dari tinja manusia dan kotoran hewan berdarah panas dan *coli non faecal* adalah bakteri non pathogen yang terdapat dalam tanah, sampah, limbah pertanian dan limbah rumah tangga. Tetapi untuk membedakan jenis-jenis bakteri yang terkandung dalam air cukup sulit. Untuk mengetahui keberadaan bakteri dalam air biasanya dilihat dari jumlah bakteri koliform secara relatif, karena bakteri ini lebih mudah dikenali dengan pasti (Todd, 1989)

2.6. Karakteristik Air Lindi

Dalam merencanakan bangunan pengolahan lindi, dilakukan pendekatan terhadap karakteristik lindi. Secara teoritikal berdasarkan hasil penelitian DR. Enri Damanhuri et al.,(2009), lindi mempunyai karakter yang khas, yaitu:

- a) Lindi dari TPST (Tempat Pembuangan Sampah Terpadu) yang muda (umur < 2 tahun) bersifat asam, berkandungan organik tinggi,

mempunyai ion-ion terlarut yang tinggi serta rasio BOD atau COD relatif tinggi.

- b) Lindi dari TPST yang sudah tua (umur > 10 tahun) sudah mendekati netral, mempunyai kandungan karbon organik dan mineral menurun serta rasio BOD dan COD relatif menurun.

Adapun pada tabel di bawah ini menjelaskan beberapa karakteristik utama air lindi.

Tabel 4. Karakteristik Utama Air Lindi

No	Parameter	Konsentrasi
1	BOD ₅ (ppm)	1.996 – 2.000
2	COD (ppm)	1.000 – 80.000
3	TSS (ppm)	30 – 10.000
4	Organik Nitrogen (ppm)	134,4 – 609,4
5	Ammonia Nitrogen	116 – 2.740
6	Mangan (ppm)	7,2 – 18,6
7	Kalium (ppm)	200 – 2.000
8	Krom (ppm)	0,1 – 0,6
9	Sulfat (ppm)	17,9 – 2.600
10	Total Besi (ppm)	5,1 – 207,9
11	pH	5,5 – 8,3
12	Nitrit (ppm)	14,9 – 123,6
13	Nitrat (ppm)	15,3 – 35,4
14	Total Fosforus (ppm)	5,9 – 85
15	Cadmium (ppm)	0 – 0,04

(Sumber: Zhao Youcai, (2018), Pollution Control Technology for Leachate from Municipal Solid Waste)

Menurut Nusa Idaman Said dan Dinda Rita Krishumartani Hartaja (2015), secara umum air lindi memiliki karakteristik antara lain adalah:

- a. Konsentrasi BOD dan COD tinggi diawal,
- b. Memiliki kandungan nitrogen yang tinggi,
- c. Daya hantar tinggi, hal tersebut dikarenakan banyaknya mineral yang dilarutkan oleh aliran lindi, sehingga daya hantarnya menjadi tinggi,
- d. Kandungan logam berat yang kadang tinggi, hal tersebut dikarenakan pH lindi yang asam dapat melarutkan logam berat yang tercampur pada sampah yang masuk ke TPA,
- e. Memiliki pH netral sampai asam,
- f. Warna yang sulit dihilangkan (coklat muda sampai hitam).

2.7. Kondisi Umum Instalasi Pengolahan Lindi di Indonesia

Instalasi pengolahan lindi (*leachate*) yang ada di TPA-TPA di Indonesia pada umumnya tidak atau belum beroperasi sesuai dengan kriteria teknis yang ada. Beberapa hal yang menyebabkan kurang optimalnya operasi IPL di TPA adalah (Annonim, 2012):

- a) Terbatasnya dana yang dialokasikan untuk pengoperasian dan pemeliharaan IPL di TPA.

Pada umumnya alokasi dana untuk pengelolaan sampah di TPA sudah sangat kecil, sehingga dana yang dialokasikan untuk O/M IPL semakin kecil lagi. Disisi lain, untuk pengoperasian dan pemeliharaannya, IPL memerlukan biaya yang tidak sedikit.

- b) Terbatasnya Sumber Daya Manusia yang kompeten yang dapat mengoperasikan IPL.

Di sebagian besar TPA di Indonesia tidak tersedia operator khusus yang bertugas untuk menjalankan IPL. IPL yang ideal seharusnya dijalankan oleh SDM yang kompeten, karena kebanyakan IPL menggunakan pengolahan secara biologis dimana

mikroorganisme perlu kondisi yang spesifik untuk dapat bekerja dengan optimal.

- c) Tidak ada kontrol dan monitoring yang baik untuk pengoperasian IPL.

Mayoritas IPL di Indonesia dibiarkan berjalan begitu saja tanpa ada control yang baik, padahal seharusnya sebelum mulai dijalankan, harus dilakukan aklimatisasi selama kurang lebih 3 bulan untuk mendapatkan kondisi mikroorganisme yang optimal.

- d) Kurang perhatiannya para pengambil kebijakan pada TPA.

Sampai saat ini, pengelolaan sampah belum menjadi prioritas untuk mendapatkan alokasi dana yang besar di daerah - daerah. Hal tersebut dikarenakan masih rendahnya tingkat kesadaran para pengambil kebijakan untuk pengelolaan sampah pada umumnya dan IPL pada khususnya.

Sebagian besar pengolahan lindi di Indonesia memiliki masalah yang sama, yaitu kuantitas dan kualitas lindi yang berfluktuasi. Disisi lain, dasar untuk dapat merencanakan IPL yang baik adalah beban hidrolis (Q), serta beban organik (BOD, COD) yang stabil. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan/penyeimbangan untuk debit dan beban organik yang masuk ke IPL, dikarenakan mikroorganisme yang bekerja di IPL tersebut sangat sensitif dengan perubahan debit dan beban organik yang ekstrim. Salah satu cara untuk mengatur debit dan beban organik tersebut adalah dengan menggunakan kolam stabilisasi serta pintu air sebelum inlet IPL (Nusa Idaman Said dan Dinda Rita Krishumartani Hartaja, 2015).

2.8. Teknologi Pengolahan Air Limbah

Air limbah mempunyai beberapa jenis dan karakteristik tergantung dari mana air limbah tersebut berasal. Dalam menentukan teknologi pengolahan air limbah harus didasarkan kepada karakteristik air limbah yang akan diolah.

Pada prinsipnya pengolahan air limbah adalah untuk menetralkan, menguraikan dan mengambil polutan yang ada dalam air limbah sehingga air limbah tersebut dapat dibuang ke lingkungan sesuai peraturan baku mutu yang berlaku. Berdasarkan karakteristik air limbah yang akan diolah, secara garis ada dua jenis teknologi pengolahan air limbah yaitu:

- a) Teknologi pengolahan air limbah secara fisika kimia,
- b) Teknologi pengolahan air limbah secara biologis.

(Nusa Idaman Said dan Dinda Rita Krishumartani Hartaja, 2015).

2.8.1. Teknologi Pengolahan Secara Fisika Kimia

Proses kimia-fisika umumnya dipakai untuk mengolah limbah-limbah anorganik seperti air limbah industri pertambangan, pelapisan logam atau pemurnian logam. Proses ini lebih banyak memanfaatkan perbedaan sifat-sifat fisik yang dimiliki oleh polutan dalam air limbah, seperti perbedaan berat jenis, ukuran partikel, dan titik didih. Beberapa contoh proses Kimia- fisika dalam pengolahan limbah adalah proses netralisasi, pengendapan, penyaringan dan penguapan. Pada proses netralisasi dan pengendapan diperlukan penambahan bahan kimia koagulan (penggumpal) dan flokulan (pembentuk flok) yang bertujuan untuk membantu mengikat dan mengendapkan partikel-partikel padat yang tersuspensi dalam air limbah (Nusa Idaman Said dan Dinda Rita Krishumartani Hartaja, 2015).

Proses kimia fisika ini kelebihanannya adalah dapat berlangsung dalam waktu yang singkat sehingga unit instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang diperlukan kecil. Sedangkan kelemahan dari proses ini diantaranya adalah hanya bersifat memindahkan polutan sehingga kalau pengelolaan hasil samping (*sludge*/endapan) tidak bagus maka akan dapat menimbulkan masalah baru (Nusa Idaman Said dan Dinda Rita Krishumartani Hartaja, 2015).

2.8.2. Teknologi Pengolahan Secara Biologis

Di dalam proses pengolahan air limbah secara biologis, pada hakekatnya adalah memanfaatkan mikroorganismenya (bakteria) yang mempunyai kemampuan untuk menguraikan senyawa-senyawa polutan tertentu di dalam suatu reaktor biologis yang dikondisikan. Di dalam proses pertumbuhan dan perkembang-biakan mikroorganismenya diperlukan sumber energi, karbon serta elemen anorganik atau nutrisi misalnya nitrogen, fosfor, sulfur, natrium, kalsium dan magnesium. Dalam proses pengolahan air limbah, sumber energi karbon dan nutrisi ini diserap dari polutan yang ada dalam air limbah.

Berdasarkan kebutuhan oksigen, bakteri untuk pengolahan air limbah digolongkan menjadi 3 (tiga) jenis yaitu:

- a. Bakteri Aerob Mutlak : yakni bakteri yang tidak dapat hidup dan menguraikan polutan air limbah jika tanpa oksigen di lingkungannya.
- b. Bakteri Fakultatif Aerob : yakni bakteri yang dapat tumbuh dan bekerja menguraikan polutan air limbah tanpa oksigen, tetapi pertumbuhannya akan lebih cepat bila terdapat oksigen di lingkungannya.
- c. Bakteri Anaerob Mutlak : yakni bakteri yang tidak dapat hidup dan bekerja menguraikan polutan air limbah jika terdapat oksigen di lingkungannya.

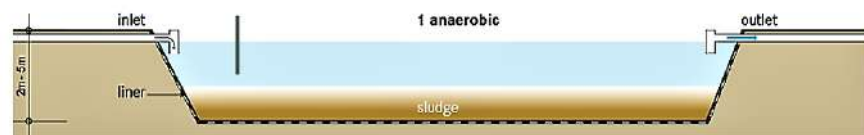
2.9. Unit Instalasi Pengolahan Air Lindi di TPA Griyo Mulyo

2.9.1. Kolam Anaerobik (*Anaerobic Pond*)

Pada kolam *anaerobic* ini terjadi perlakuan biologis terhadap limbah. Unsur organik yang terdapat dalam limbah cair digunakan bakteri sebagai makanan dalam proses mengubahnya menjadi bahan yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Rahardjo, 2005). Limbah cair

yang masuk ke dalam bak anaerobik ini adalah limbah Kualitas BOD sekitar 3000 ppm dengan pH antara 5 – 6 (Rahardjo, 2009).

Suhu pada limbah cair yang di kolam anaerobik ini sudah berada pada kisaran 40°C-50°C. Kolam anaerobik (*anaerobic pond*) ini terbagi menjadi dua yaitu kolam anaerobik (*anaerobic pond*) primer dan kolam anaerobik (*anaerobic pond*) sekunder. Kolam anaerobik primer maksudnya ialah kolam anaerobik yang pertama kali berperan dalam perombakan pertama yang dilakukan oleh bakteri *mesophilic*, lalu kolam anaerobik sekunder menerima umpan dari kolam anaerobik primer. Setiap kolam anaerobik terdapat bakteri mesophilic yang berkembang biak dan bekerja merombak limbah cair (Iswahyudi, 2016). Penanganan limbah cair secara anaerobik akan mengurangi beban lingkungan dan akan menghasilkan berbagai gas diantaranya metana, karbondioksida, dan hidrogen sulfida (Sihaloho, 2009).



Gambar 9. Kolam Aneerobik

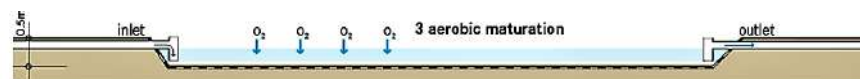
Sumber: *Typical scheme of a Waste Stabilisation System (WSP)*. TILLEY et al, (2014).

2.9.2. Kolam Aerobik (*Aerobic Pond*)

Proses pada kolam aerobik (*aerobic pond*) bertujuan untuk mengurangi jumlah kandungan bahan aktif yang tersuspensi dan mengubahnya menjadi bentuk padatan yang diendapkan oleh flokulasi mikroorganisme. Pada kolam ini penguraian terjadi secara aerob yaitu proses yang berlangsung dengan membutuhkan oksigen melalui udara. Oksigen ini diperlukan untuk pertumbuhan maupun untuk respirasi (Sihaloho, 2009).

Pada kolam ini telah tumbuh ganggang dan mikroba heterotrop yang membentuk *flok*. Hal ini merupakan proses penyediaan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba dalam kolam. Pada kolam aerobik ini, dilakukan kegiatan *feeding* (pemberian umpan) dari satu kolam aerobik ke kolam aerobik lainnya. Pemberian umpan ini tujuannya sama seperti pada kolam pendinginan dan kolam anaerobik, untuk mengalirkan limbah cair ke kolam berikutnya (Iswahyudi, 2016).

Setelah melalui proses pengolahan, limbah cair pada kolam akhir (*final pond*) di buang ke sungai melalui *outlet* yang sudah dibuat dekat dengan kolam akhir (*final pond*) (Iswahyudi, 2016). Keuntungan proses pencernaan aerobik antar lain hasil pencernaan aerobik tidak berbau, bersifat seperti humus, mudah dikeringkan (Sihaloho, 2009).



Gambar 10. Kolam Aerobik

(Sumber: *Typical scheme of a Waste Stabilisation System (WSP)*. TILLEY et al, 2014).

2.9.3. Sistem Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetlands*)

Lahan basah buatan (*Constructed Wetlands*) atau yang sering disebut rawa buatan adalah suatu konstruksi yang dirancang untuk memperoleh keuntungan dari perbaikan fungsi kualitas air pada lahan basah alami. Konstruksi ini dirancang untuk mengetahui proses perbaikan kualitas air secara khusus yaitu meliputi pengendalian “*outflow*” dan meminimalkan fungsi pengolahan tertentu (Muhajir, 2013).

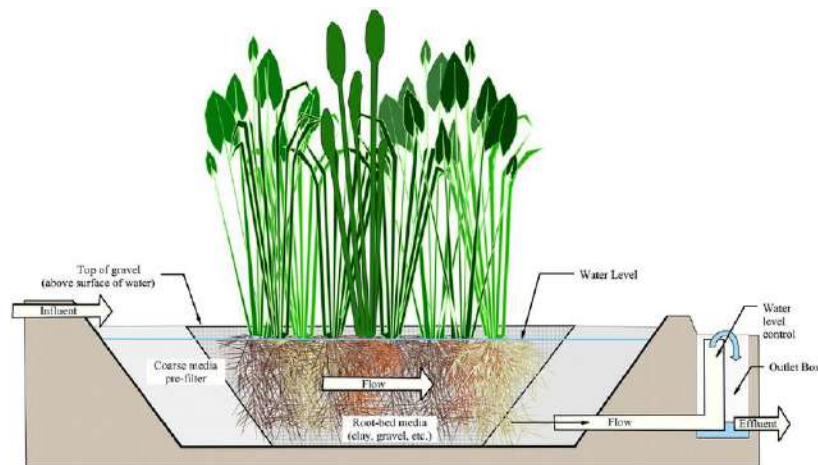
Constructed wetlands adalah suatu rekayasa pengolahan air limbah yang prinsipnya dirancang dan dibangun berdasarkan bantuan tanaman air, dan media tanam seperti tanah, pasir, kerikil maupun media

lainnya. Perancangan *constructed wetlands* bertujuan untuk pengolahan limbah, penyediaan keragaman habitat dan satwa liar, mendukung kegiatan rekreasi, sebagai penyimpanan air selama musim panas dan dapat menambah nilai estetika lingkungan (Musarofa dkk, 2018).

Menurut Nayono (2010) Kemampuan *constructed wetland* sangat tinggi dalam pengolahan air limbah terutama di daerah tropis. Pengurangan BOD dengan proses ini dapat mencapai 65%-85%. Padatan tersuspensi dapat dikurangi sebanyak 90%, sedangkan pengurangan nutrient (nitrogen dan fosfor) dapat mencapai 85% serta pengurangan organisme pathogen seperti *Eshericia coli* mencapai 99,5%.

Menurut Lestari (2012), beberapa fungsi dan manfaat dari *constructed wetland* adalah sebagai berikut:

- a) Biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan sistem pengolahan air limbah konvensional.
- b) Rawa buatan dapat mengolah berbagai jenis air limbah baik air limbah domestik, pertanian, perkotaan, industri, pertambangan, maupun air tercemar yang berasal dari *run-off*.
- c) Rawa buatan dapat digunakan dalam memperbaiki kualitas air dari suatu sungai ataupun danau.
- d) Mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam menghilangkan bahan pencemar.
- e) Sangat cocok digunakan untuk keperluan irigasi.



Gambar 11. *Constructed Wetland*

(Sumber: *Wetland Technologies for Nursery and Greenhouse Compliance with Nutrient Regulations*. Sarah A White, 2013).

2.9.4. Filter Kempa (*Filter Press*)

Filter ini terdiri dari seperangkat lempengan (plate) yang dirancang untuk memberikan sederetan ruang atau kompartemen dimana zat padat itu akan mengumpul. Lempengan itu ditutup dengan medium filter, seperti kanvas. Bubur umpan masuk ke dalam masing-masing komponen itu dengan tekanan. Cairannya lewat melalui kanvas dan keluar melalui pipa pengeluar, dan meninggalkan ampas (zat padat) basah di dalam ruang itu. Lempengan tersebut ada yang berbentuk bujur sangkar atau lingkaran, dan ada yang vertikal atau horizontal (Maulinda, 2019).



Gambar 12. *Filter Press*

(Sumber: M.W. Watermark Filter Press. Jerem, 2016)