

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD)

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2017), sistem pengelolaan air limbah domestik atau SPALD merupakan serangkaian kegiatan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan sarana dan prasarannya. Air limbah domestik terdiri atas air limbah kakus (*black water*) dan air limbah non kakus (*grey water*). SPALD terdiri dari Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S) dan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T).

2.1.1 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S)

SPALD-S atau *on-site sanitation* adalah sistem pengelolaan air limbah domestik yang pengolahannya dilaksanakan di lokasi sumbernya, kemudian lumpur hasil olahannya diangkut menggunakan sarana transportasi pengangkutan menuju sub-sistem pengolahan lumpur tinja (Menteri Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017). Komponen SPALD-S terdiri atas: sub-sistem pengolahan setempat, sub-sistem pengangkutan, dan sub-sistem pengolahan lumpur tinja.

Sub-sistem pengolahan setempat merupakan sub-sistem air limbah domestik untuk mengumpulkan dan mengolah di lokasi sumber yang terdiri atas skala individual dan skala komunal. Pengolahan air limbah domestik di lokasi sumber ini dilaksanakan secara pengolahan biologi, dalam hal ini umumnya menggunakan tangki septik beserta sumur resapan. Sub-sistem pengangkutan merupakan sarana memindahkan lumpur tinja hasil dari sub-sistem pengolahan setempat menuju sub-sistem pengolahan lumpur tinja menggunakan kendaraan yang dilengkapi tangki penampung dan alat penyedot lumpur tinja. Sub-sistem pengolahan lumpur tinja merupakan sub-sistem instalasi untuk mengolah lumpur tinja (*black water*) berbentuk IPLT (Menteri Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017; Oktarina & Haki, 2013).

2.1.2 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T)

Menurut Fajarwati dalam Oktarina & Haki (2013), SPALD-T atau *off-site sanitation* merupakan sistem pengelolaan air limbah domestik yang disalurkan dari masing-masing rumah ke saluran pengumpul air buangan yang kemudian dialirkan menuju pengolahan terpusat. Cakupan pelayanan SPALD-T terdiri dari skala perkotaan, skala permukiman, dan skala kawasan tertentu. Komponen SPALD-T terdiri atas: sub-sistem pelayanan, sub-sistem pengumpulan, dan sub-sistem pengolahan terpusat. Secara garis besar, komponen-komponen dalam SPALD-T dihubungkan oleh sistem perpipaan mulai dari sub-sistem pelayanan hingga menuju sub-sistem pengolahan terpusat. Untuk pengolahan air limbah domestik pada sub-sistem pengolahan terpusat dilaksanakan secara pengolahan fisik, pengolahan biologis, dan/atau pengolahan kimiawi (Menteri Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017).

2.2 Lumpur Tinja

Lumpur tinja (*septage/faecal sludge*) merupakan kumpulan lumpur, busa, dan cairan yang disedot dari sistem pengolahan secara *on-site sanitation* (Metcalf & Eddy dalam Putri, 2015). Menurut Tamakloe (2014), lumpur tinja ialah padatan dari hasil penyimpanan *black water* dan tinja dari berbagai konsentrasi padatan yang mengendap atau materi non-feses lainnya. Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (1999), lumpur tinja adalah isi tangki septik dan endapan lumpur yang berasal dari bangunan pengolah air limbah rumah tangga yang pembersihannya menggunakan mobil atau truk tinja.

Menurut Cofie dkk (2006), lumpur tinja terdiri atas campuran lumpur dari toilet umum yang tidak mempunyai saluran pembuangan dan lumpur tinja dari tangki septik dengan perbandingan 1:2. Lumpur tinja dari toilet umum memiliki kondisi agak segar dikarenakan penyimpanan sebelum pengumpulan (dari beberapa hari hingga 2 minggu), menunjukkan konsentrasi organik dan padatannya yang tinggi. Tinja terdiri atas sebagian besar pasir dan minyak yang bersifat bau yang

tajam, berbusa jika diaduk, konsentrasi zat padat dan organik tinggi, sukar mengendap dan dipisahkan cairannya (Putri, 2015).

2.2.1 Karakteristik Lumpur Tinja

Karakteristik lumpur tinja sangat bervariasi, ini dapat disebabkan antara lain jumlah pemakai, kebiasaan makan dan minum pemakai, sumber lumpur tinja (tangki septik/cubluk), desain dan ukuran tangki septik, kondisi cuaca dan iklim, dan lain-lain (Putri, 2015). Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), hasil pengambilan sampel lumpur tinja beberapa lokasi di Indonesia, lumpur tinja di Indonesia mempunyai karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Lumpur Tinja di Indonesia

Parameter	Besaran
pH	7 - 7,5
BOD (mg/l)	2.000 - 5.000
COD (mg/l)	6.000 - 15.000
<i>Total Solid</i> (mg/l)	14.000 - 24.000
<i>Total Suspended Solid</i> (mg/l)	10.000 - 20.000
<i>Sludge Volume Index</i> (mg/l)	31 - 40
Ammonia (mg/l)	100 - 250
Minyak dan Lemak (mg/l)	1.000 - 2.000
Total Koliform	1.600.000 - 5.000.000
Fosfat (mg/l)	8 - 20

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

Sedangkan sebagai pembanding lumpur tinja dan air limbah, didapatkan data hasil pengujian karakteristik lumpur tinja di Asia Tenggara, Asia Selatan, dan Afrika selama 30 tahun seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Heinss dalam Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018).

Tabel 2.2 Karakteristik Lumpur Tinja di Negara Tropis

	Tipe A (Konsentrasi pencemar tinggi)	Tipe B (Konsentrasi pencemar rendah)	Air Limbah Domestik (Sebagai Perbandingan)
Karakteristik	Kepekatan tinja tinggi, mengandung lumpur tinja yang belum terolah dan sebagian terolah. Periode pengolahan 2-4 minggu.	Konsentrasi tinja tidak tinggi. lumpur tinja umumnya mengendap di septik beberapa tahun.	lumpur tinja telah dan tangki selama
COD (mg/l)	20.000 - 50.000	<15.000	500 - 2.500
COD/BOD	5:1	10:1	2:1
NH ₄ -N (mg/l)	2.000 - 5.000	<1.000	30 - 70
<i>Total Solid</i> (mg/l)	≥3,5%	<3%	<1%
<i>Total Suspended Solid</i> (mg/l)	≥30.000	≥7.000	200 - 700
Telur Cacing (No./L)	20.000 - 60.000	≥4.000	300 - 2.000

Sumber: Heinss dalam Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

2.2.2 Komposisi Lumpur Tinja

Komposisi tinja dan urin manusia disajikan pada Tabel 2.3. Tinja dan urin manusia memiliki bahan organik yang tinggi, antara lain: karbohidrat, protein, dan lemak. Karbohidrat dan protein membentuk pola makan yang baik untuk bakteri, sehingga sering dimanfaatkan untuk pengolahan mikrobiologi air limbah. Sedangkan, urin mengandung jutaan bakteri usus dan sedikit organisme lainnya yang sebagian besar tidak berbahaya (lebih dimanfaatkan) tetapi sebagian kecil juga dapat menyebabkan penyakit (Gotaas dalam Mara, 2004).

Tabel 2.3 Komposisi Tinja dan Urin Manusia

	Feses	Urin
Kuantitas		
Basah (g/orang/hari)	135 - 270 g	1,0 - 1,3 kg
Padatan Kering (g/orang/hari)	35 - 70 g	50 - 70 g
Komposisi dari berat kering (%)		
Air	66 - 80	93 - 96
Bahan Organik	88 - 97	65 - 85
Nitrogen	5,0 - 7,0	15 - 19
Fosfor (sebagai P ₂ O ₅)	3,0 - 5,4	2,5 - 5,0
Potasium (sebagai K ₂ O)	1,0 - 2,5	3,0 - 4,5
Karbon	44 - 55	11 - 17
Kalsium (sebagai CaO)	4,5	4,5 - 6,0

Sumber: Mara (2004)

2.2.3 Parameter Lumpur Tinja

Menurut Metcalf & Eddy (2003), karakteristik air limbah domestik terdiri atas fisik, kimia, dan biologis. Parameter analisis kualitas lumpur tinja merupakan parameter dari air limbah domestik. Parameter ini dimaksudkan sebagai acuan untuk melihat kualitas lumpur tinja yang telah diolah melalui IPLT (Sulistia & Septisya, 2020). Adapun beberapa parameter dari lumpur tinja antara lain:

1. Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan ukuran untuk menentukan sifat asam dan basa dari suatu larutan (Purwatinigrum, 2018). pH adalah parameter yang penting dalam pemeriksaan lumpur tinja karena dapat mempengaruhi stabilisasi biologi. pH pada lumpur tinja berkisar 6,5 - 8 (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018).

2. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik dalam 1 liter sampel air menggunakan oksidator K₂Cr₂O₇ sebagai sumber oksigen (Metcalf & Eddy, 2003). Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), parameter COD

mengindikasikan kandungan organik pada lumpur tinja baik terdegradasi secara biologis maupun non-biologis.

3. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik dalam air limbah (Putra, 2020). Parameter BOD adalah parameter yang mengindikasi terdegradasinya senyawa organik secara biologis dan paling banyak digunakan dalam uji air limbah dan permukaan. Lumpur tinja umumnya memiliki konsentrasi BOD lebih tinggi dari air limbah domestik (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018).

4. Minyak dan Lemak

Menurut Sugiharto dalam Purwatiningrum (2018), minyak dan lemak adalah zat pencemar padatan yang bersifat mengapung di atas permukaan air. Lumpur tinja mengandung minyak dan lemak yang berasal dari minyak rumah tangga, daging, dan lain-lain yang dapat menurunkan kemampuan mikroba dalam mendegradasi senyawa organik (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Menurut Sulistia & Septisya (2020), minyak dan lemak memiliki berat jenis lebih kecil dari air sehingga dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air.

5. Padatan Total (*Total Solid*)

Konsentrasi padatan total pada lumpur tinja merupakan parameter fisik berupa kandungan bahan padatan dalam air limbah, mulai dari yang mengapung, mengendap, tersuspensi dan terlarut (Putra, 2020; Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Keberadaan padatan dalam air limbah berasal dari padatan pada sumber limbah yang terbawa dan dinyatakan dalam satuan massa padatan per satuan volume air (Masduqi & Assomadi dalam Putra, 2020).

6. Bakteri Koliform

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), bakteri koliform termasuk organisme patogen yang terkandung dalam lumpur tinja berupa bakteri yang ditemukan dalam saluran pencernaan manusia.

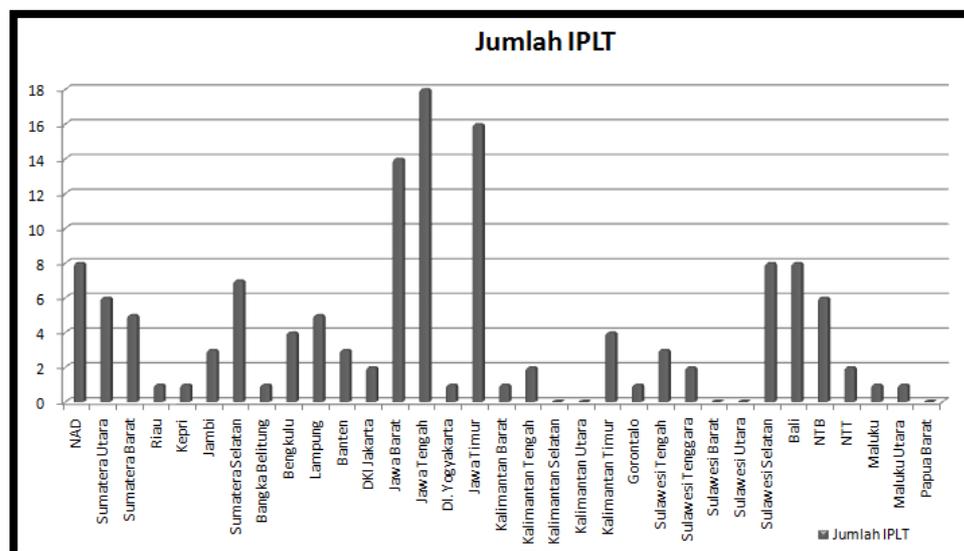
Dinyatakan pula nilai total koliform sebagai indikator karena berbanding lurus dengan pencemaran air, artinya semakin sedikit kandungan koliform maka kualitas air semakin baik (Sari & Sutrisno dalam Sulistia & Septisya, 2020).

2.3 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja

Instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT) merupakan instalasi pengolahan air limbah yang dirancang untuk mengolah lumpur tinja agar tidak membahayakan bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan sekitar (Oktarina & Haki, 2013). Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (1999), IPLT adalah IPAL yang didesain hanya menerima lumpur tinja melalui sarana transportasi pengangkut dan tanpa perpipaan. Lumpur tersebut akan diolah menjadi *cake* (lumpur kering) beserta effluen yang sudah aman akan dibuang ke badan air atau dimanfaatkan kembali. *Cake* tadi bisa bermanfaat untuk kompos/pupuk dan air effluennya dapat dimanfaatkan untuk penyiraman taman, membantu pengenceran kembali dalam pengolahan air limbah, dan lain-lain.

Dalam 20 tahun terakhir, lebih dari 150 IPLT telah dibangun di kota-kota besar, namun hanya kurang lebih 10% dioperasikan secara baik (Indiyani dkk dalam Abfertiawan, 2019). Diantara 507 daerah kabupaten dan kota se-Indonesia, hanya 134 daerah yang memiliki IPLT, sisanya masih membuang lumpur tinja ke sungai atau kebun. Lebih spesifik lagi, IPLT di Indonesia tersebar di 29 provinsi dari total 34 provinsi (Putri, 2015). Gambar 2.1 menunjukkan grafik dalam penyebaran IPLT di Indonesia.

Permasalahan juga terjadi dalam kondisi eksisting IPLT di Indonesia. Banyaknya IPLT yang tidak berfungsi serta tidak beroperasi secara maksimal seperti halnya kurangnya pasokan lumpur tinja, manajemen IPLT yang kurang profesional, rendahnya pengetahuan masyarakat mengenai pengolahan lumpur tinja dan pembayaran retribusi (Anggraini dkk, 2014).



Gambar 2.1 Penyebaran IPLT di Indonesia

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat dalam Putri (2015)

2.4 Baku Mutu Lumpur Tinja

Baku mutu adalah batas kadar dan jumlah unsur pencemar dalam limbah cair untuk dibuang ke lingkungan dari suatu kegiatan tertentu (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 1999). Artinya, sebelum dibuang ke lingkungan, air limbah harus diolah hingga memenuhi baku mutu sesuai yang diacukan supaya menghindari pencemaran lingkungan (Putra, 2020). Baku mutu yang digunakan IPLT untuk mengolah lumpur tinja merupakan kategori baku mutu air limbah domestik. Baku mutu lumpur tinja skala Indonesia terdapat pada Tabel 2.4, menunjukkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016.

Tabel 2.4 Baku Mutu Lumpur Tinja Versi KLHK

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/l	30
COD	mg/l	100
TSS	mg/l	30
Minyak dan Lemak	mg/l	5

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
Amoniak	mg/l	10
Total Koliform	Jumlah/100 ml	3000

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016

Sedangkan untuk baku mutu lumpur tinja skala Provinsi Jawa Timur dapat dilihat pada Tabel 2.5 yang menunjukkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013.

Tabel 2.5 Baku Mutu Lumpur Tinja Versi Prov. Jawa Timur

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/l	30
COD	mg/l	50
TSS	mg/l	30
Minyak dan Lemak	mg/l	10

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013

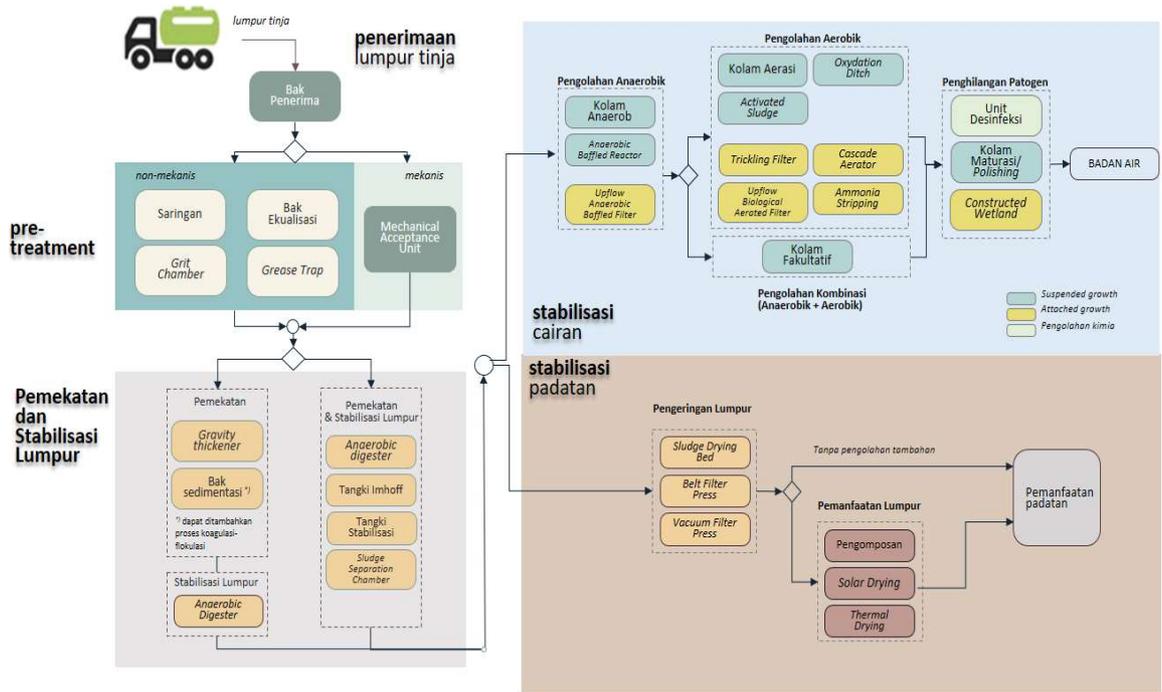
2.5 Pengolahan Lumpur Tinja

Tangki septik merupakan pengolahan awal lumpur tinja yang kemudian akan dibawa/angkut dengan truk tinja dan dilanjutkan pengolahan lumpur tinja ke IPLT. Menurut Fair dkk dalam Putri (2015), air effluen dan lumpur merupakan produk akhir dari pengolahan air limbah itu sendiri. Berdasarkan penjelasan Oktarina & Haki (2013), pengolahan lumpur tinja ini dilakukan dengan tujuan utama, yaitu:

1. Menurunkan kandungan zat organik dari lumpur tinja;
2. Menurunkan kandungan mikroorganisme patogen (bakteri, virus, jamur, dan lain-lain).

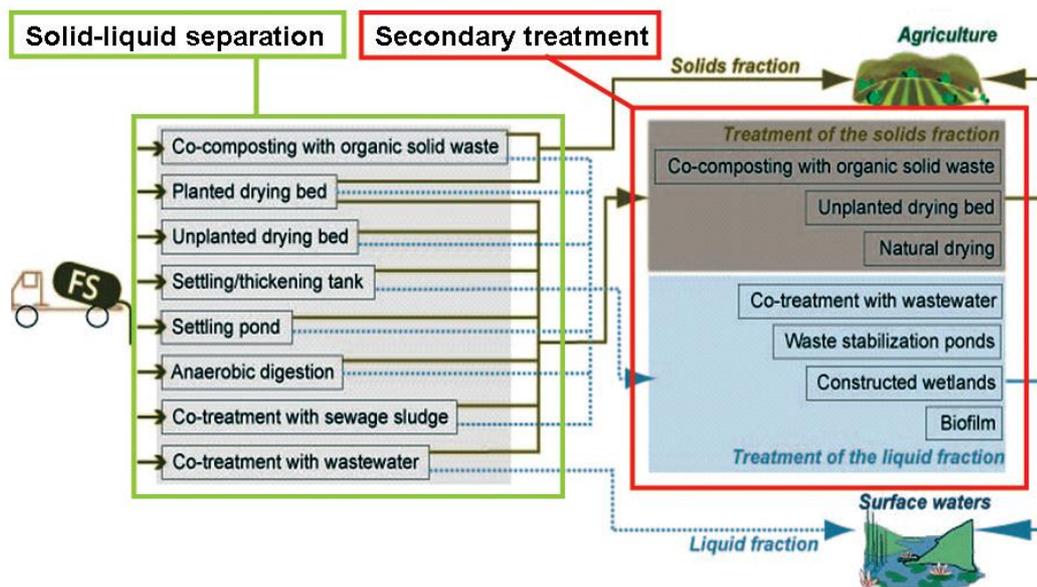
Pengolahan lumpur tinja bisa menjadi proses yang rumit dikarenakan beberapa desain unit pengolahan yang berbeda bisa digunakan, seperti menggunakan pengolahan fisik, biologis, dan kimiawi, dan kombinasi yang berbeda (Christie dalam Tamakloe, 2014). Lumpur tinja membutuhkan pemisahan padatan dan cairan. Pemisahan padatan dan cairan dilakukan melalui sedimentasi dan penebalan di kolam/tangki, juga melalui penyaringan dan pengeringan di kolam pengeringan lumpur. Fraksi padat dan cair yang dihasilkan keduanya membutuhkan pengolahan lebih lanjut (Tamakloe, 2014). Gambar 2.2 berikut menunjukkan

teknologi-teknologi pengolahan lumpur tinja yang umum digunakan di Indonesia dan Gambar 2.3 menampilkan diagram bagaimana setelah pemisahan padatan dan cairan lumpur tinja dapat diproses atau digunakan lebih lanjut.



Gambar 2.2 Teknologi Pengolahan Lumpur Tinja

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)



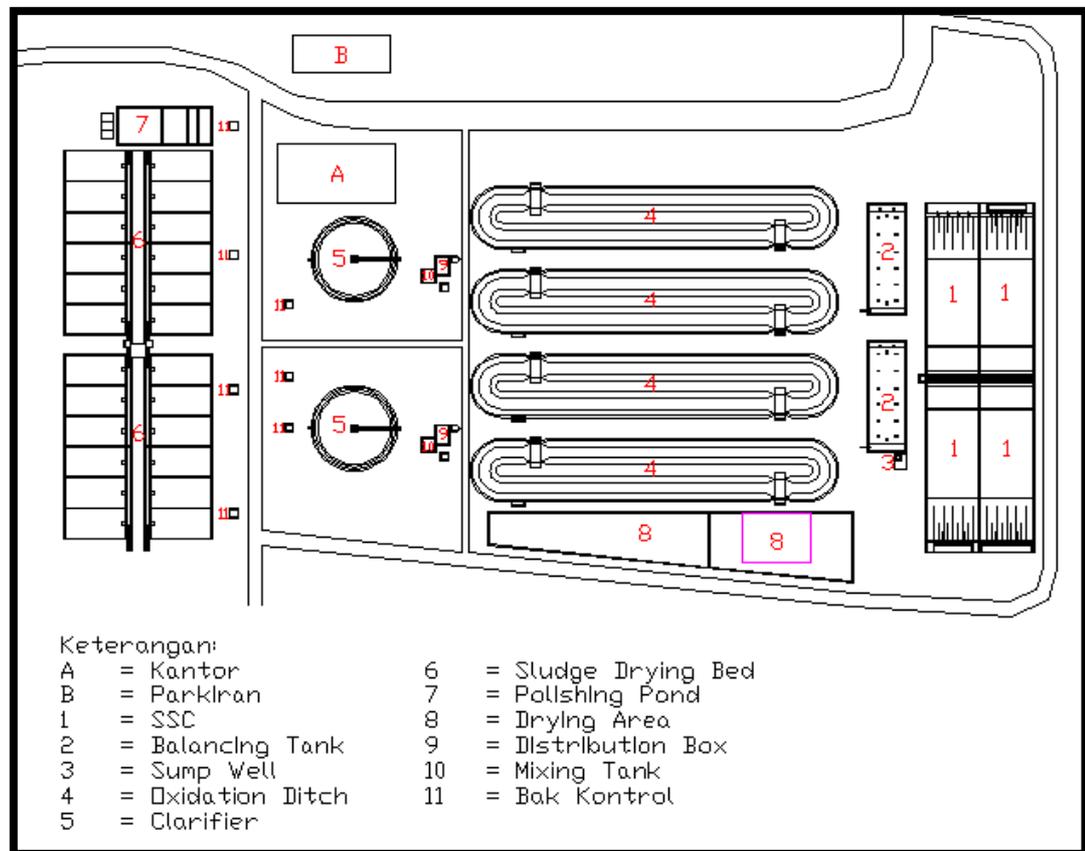
Gambar 2.3 Opsi Potensial Pengelolaan Lumpur Tinja

Sumber: Strauss dkk dalam Tamakloe (2014)

2.5.1 IPLT Keputih

Permasalahan Kota Surabaya adalah belum sepenuhnya masyarakat membuang air limbahnya melalui pengadaan cubluk secara individual dan MCK (mandi, cuci, dan kakus) umum secara komunal. Di lapangannya masih banyak masyarakat yang membuang air limbah (*black water* maupun limbah cuci, dll) langsung ke sungai atau selokan. Akibatnya, kondisi kesehatan masyarakat sedikit terganggu, mulai dari beberapa kasus seperti penyakit typhus dan diare (Anonim, 2010). Di sisi lain, Kota Surabaya mempunyai visi dalam lingkup sanitasi lingkungan demi terwujudnya pelayanan sanitasi bagi masyarakat Kota Surabaya yang handal, tepat guna, dan ramah lingkungan melalui pengolahan limbah domestik yang memadai (Dian & Herumurti, 2016). IPLT Keputih Kota Surabaya dibangun untuk memenuhi kebutuhan sarana pra-sarana dan menjawab permasalahan perihal sanitasi, yang selanjutnya dalam berjalannya waktu menjadi salah satu IPLT yang berjalan baik pengoperasiannya di Indonesia (Oktarina & Haki, 2013; Putri, 2015).

IPLT Keputih dibangun oleh Pemerintah Kota Surabaya dengan awal luas areal 1,75 Ha yang berlokasi di Kelurahan Keputih, Kecamatan Sukolilo. IPLT Keputih merupakan suatu teknologi *intermediate* atau gabungan untuk menyempurnakan sistem pembuangan dan pengolahan lumpur tinja karena pada sistem sebelumnya belum berorientasi pada lingkungan. Mempunyai 8 (delapan) unit pengolahan lumpur tinja, terdiri dari bak pemisah lumpur (*solid separation chamber/SSC*), unit ekualisasi (*balancing tank/BT*), unit oksidasi parit (*oxidation ditch/OD*), unit pengendap akhir (*clarifier*), unit distribution (*distribution box*), unit kolam outlet/pematangan (*polishing pond/PP*), unit pengering lumpur (*sludge drying bed/SDB*), dan unit pengering lumpur (*drying area/DA*) (Dian & Herumurti, 2016). Berikut Gambar 2.4 menunjukkan layout dari IPLT Keputih.



Gambar 2.4 Layout IPLT Keputih

Sumber: Putra (2020)

2.5.2 Unit Pengolahan di IPLT Keputih

Menurut Dian & Herumurti (2016), kapasitas pengolahan yang dimiliki IPLT Keputih adalah sebesar 400 m³/hari. Di lapangannya, pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih hanya terisi sekitar 137 m³/hari atau bisa dibilang masuk dalam kondisi *idle capacity*. Dalam data Putri (2015), jumlah rata-rata lumpur tinja yang masuk pada musim kemarau kurang lebih 100 m³/hari, dan pada musim penghujan kurang lebih 150 m³/hari. Pada umumnya, pengolahan lumpur tinja menggunakan unit teknologi kombinasi tangki *imhoff* dan kolam stabilisasi atau hanya kolam stabilisasi saja. Namun, pada IPLT Keputih ini menggunakan unit teknologi pengolahan biologis secara aerob dalam skala besar, yaitu dengan unit oksidasi parit (*oxidation ditch*/OD). Selain OD, terdapat unit pengolahan lainnya yang berada

pada IPLT Keputih. Berikut unit-unit pengolahan yang digunakan pada IPLT Keputih yaitu:

1. Bak Pemisah Lumpur (*Solid Separation Chamber/SSC*)

Menurut Hermana dalam Putra (2020), SSC secara fisik berfungsi untuk memisahkan fraksi padatan/TSS (*solid*) pada lumpur tinja dari fraksi cairan/air (supernatan). Unit SSC adalah modifikasi dan kombinasi antara *sand drying bed* dan *solar drying bed*, yang merupakan salah satu unit *dewatering* (Darwin & Moersidik, 2016). Di dalam SSC, lumpur tinja akan melalui proses fisik penyaringan dengan dua media, yaitu media pasir dan kerikil. Proses selanjutnya yaitu pengeringan dengan penyinaran memanfaatkan matahari sebagai desinfeksi dan angin untuk mengurangi kelembapan. SSC dilengkapi dengan pipa *underdrain* yang berfungsi untuk mengalirkan filtrat menuju unit *sump well*. Supernatan akan mengalir menuju BT melalui pintu *gutter* (Dian & Herumurti, 2016). Kriteria desain unit SSC ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kriteria Desain Unit SSC

Kriteria	Nilai	Satuan
Tebal lapisan pasir	20-30	cm
Tebal lapisan kerikil	20-30	cm
Ketebalan lumpur di atas pasir	30-50	cm
Waktu pengeringan lumpur	5-12	hari
Kandungan solid pada effluen	20% dari kandungan solid influen	%

Sumber: Hermana dalam Putra (2020)

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2013), untuk mengitung desain unit SSC dilakukan tahap sebagai berikut:

- Merencanakan kedalaman unit SSC, mulai dari ketebalan lumpur, ketebalan media kerikil, dan ketebalan media pasir;
- Luas permukaan:

$$A = \frac{Q}{H_{lumpur}} \dots\dots (1)$$

Dengan: A = Luas permukaan yang dibutuhkan (m²)

Q = Debit influen (m³/hari)

H_{lumpur} = Ketinggian lumpur (m)

- Menghitung kebutuhan luas permukaan berdasarkan waktu pengeringan lumpur sesuai kriteria desain;
- Jumlah kolam yang dibutuhkan:

$$n = \frac{A}{p \times l} \dots\dots (2)$$

Dengan: n = Jumlah kolam yang dibutuhkan (unit)

A = Luas permukaan kebutuhan lumpur (m²)

p = Panjang kolam (m)

l = Lebar kolam (m)

2. Unit Ekualisasi (*Balancing Tank/BT*)

Balancing Tank merupakan bak penyeimbang (tangki aliran rata-rata) yang berfungsi untuk menghomogenkan air limbah demi memudahkan proses pengolahan selanjutnya (Zulqaida Fitrahani dkk, 2012). Selain itu menurut Saraswati dalam Putra (2020), BT digunakan untuk mengatasi adanya masalah operasional, variasi debit, dan masalah terhadap kualitas limbah yang akan masuk ke unit pengolahan selanjutnya. Adapun kriteria desain untuk BT ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kriteria Desain Unit BT

No	Parameter Kerja	Kriteria Desain
1	Jangkauan <i>mixer</i>	1/2 – 2/3 dari kedalaman
2	Kecepatan gradien rata-rata	25-250 /s
3	<i>Dynamic Viscosity</i> suhu 30°C	0,798 x 10 ⁻³ N.s/m ²
4	Kedalaman	1,5 - 3 m
5	Waktu detensi	<2 jam

Sumber: Dian & Herumurti (2016); Metcalf & Eddy (2003)

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2013), untuk mengitung desain unit BT dilakukan tahap sebagai berikut:

- Menentukan volume unit BT dibutuhkan berdasarkan volume kumulatif influen lumpur tinja pada setiap jam operasional. Merencanakan kedalaman unit, luas permukaan, rasio panjang:lebar, *freeboard*, dan volume efektif unit;

- Menentukan pengaruh unit BT terhadap laju beban BOD₅:

a) Menghitung volume lumpur tinja dalam unit BT

$$V_{sc} = V_{sp} + V_{ic} - V_{oc} \dots\dots (3)$$

Dimana: V_{sc} = Volume pada suatu periode waktu (m³)
 V_{sp} = Volume pada akhir periode waktu (m³)
 V_{ic} = Volume influen selama periode waktu (m³)
 V_{oc} = Volume effluen selama periode waktu (m³)

b) Menghitung konsentrasi rerata BOD₅ dalam lumpur tinja

$$X_{oc} = \frac{(V_{ic})(X_{ic}) + (V_{sp})(X_{sp})}{V_{ic} + V_{sp}} \dots\dots (4)$$

Dimana: X_{oc} = Rerata konsentrasi BOD₅ effluen (mg/liter)
 V_{sp} = Volume pada akhir periode waktu (m³)
 V_{ic} = Volume influen selama periode waktu (m³)
 X_{sp} = Rerata BOD₅ akhir periode waktu (mg/liter)
 X_{ic} = Rerata BOD₅ influen (mg/liter)

3. Unit Oksidasi Parit (*Oxidation Ditch/OD*)

OD merupakan unit pengolahan limbah berupa modifikasi proses *activated sludge* dengan proses biologis secara aerobik dan anoksik. Pengoperasian dan pengembangan OD ialah dari metode *extended aeration process* (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017; Putri, 2015). Unit OD berfungsi untuk menurunkan/menyisihkan bahan organik (konsentrasi BOD, COD, dan nutrien) pada supernatan menggunakan mikroorganisme (Dian & Herumurti, 2016). Keuntungan unit OD adalah: (Putri, 2015)

- Operasionalnya mudah;
- Tahan terhadap *shock loading*;
- Dapat diterapkan dalam menurunkan nutrien;
- Menghasilkan effluen sesuai baku mutu;
- Produksi *biosolids* terbatas.

Lumpur tinja dialirkan mengikuti saluran sirkular dengan tujuan terjadinya proses aerasi dengan bantuan *mammoth rotor* hingga terbentuknya *biological floc* (Putra, 2020). Kriteria desain dari unit OD dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Kriteria Desain Unit OD

No	Parameter	Nilai
1	<i>Organic Loading Rate (OLR)</i>	0,15-0,3 kg/m ³ hari
2	<i>Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)</i>	3000-6000 mg/l
3	<i>Hydraulic Retention Time (HRT)</i>	15-30 jam
4	Efisiensi pengolahan	80-90%
5	<i>Sludge Retention Time (SRT)</i>	15 - 30 hari
6	Rasio <i>Food to Mass (F/M)</i>	0,03 - 0,15
7	Tinggi air	1 - 1,5 mg/L
8	Kebutuhan oksigen	1,5 - 2 kg O ₂ /kg BOD

Sumber: Dian & Herumurti (2016); Metcalf & Eddy (2003)

Variabel desain yang umum digunakan dalam unit pengolahan air limbah sistem lumpur aktif adalah sebagai berikut: (Davis & Cornwell; Yerstraete & van Yaerenbergh dalam Sholichin, 2012)

- Beban BOD / *Organic Loading Rate (OLR)*

Beban BOD merupakan jumlah massa BOD dalam influen air limbah dibagi dengan volume reaktor. Adapun rumus beban BOD dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Beban BOD (OLR)} = \frac{Q \times S_0}{V} \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \dots \dots (5)$$

Dimana: Q = Debit influen (m³/hari)

S₀ = Konsentrasi BOD dalam influen (kg/m³)

V = Volume reaktor (m³)

- *Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)* dan *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS)*

MLSS adalah jumlah total dan padatan tersuspensi berupa material organik dan mineral. MLSS ditentukan dengan menyaring lumpur dengan kertas saring, kemudian dikeringkan pada temperatur 105°C, lalu berat padatannya ditimbang.

Sedangkan, porsi material organik pada MLSS diwakili oleh MLVSS, yang berisi material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan hancuran sel (Nelson & Lowrence dalam Sholichin, 2012). MLVSS diukur dengan memanaskan terus sampel filter yang telah kering pada 600-6500°C, dan nilainya mendekati 65-75% dari MLSS.

- Rasio *Food to Mass* (F/M)

F/M menunjukkan jumlah zat organik (BOD) yang dihilangkan dibagi dengan jumlah massa mikroorganisme. Besarnya nilai rasio F/M ditunjukkan dalam kilogram BOD per kilogram MLSS per hari. F/M dihitung menggunakan rumus berikut:

$$F/M = \frac{Q (S_o - S)}{MLSS \times V} \dots\dots (6)$$

Dimana: Q = Laju air limbah (m³/hari)
 S_o = Konsentrasi BOD dalam influen (kg/m³)
 S = Konsentrasi BOD dalam effluen (kg/m³)
 MLSS = *Mixed liquor suspended solids* (kg/m³)
 V = Volume reaktor (m³)

- *Hydraulic Retention Time* (HRT)

Waktu tinggal hidraulik (HRT) merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh influen masuk dalam reaktor untuk proses lumpur aktif atau nilainya berbanding terbalik dengan laju pengenceran. HRT dapat dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$HRT = \frac{SRT \times Y \times (S_o - S_e)}{MLVSS (1 + k_d \times SRT)} \dots\dots (7)$$

Dimana: HRT = Waktu tinggal hidraulik (jam)
 SRT = Waktu retensi lumpur (hari)
 Y = Koef. pembentukan biomassa (rasio perbandingan massa sel yang terbentuk dengan massa substrat yang dikonsumsi)
 (0,40-0,80 gVSS/gbCOD)

- So = Konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)
 Se = Konsentrasi senyawa terlarut dalam effluen (mg/l)
 MLVSS = *Mixed liquor volatile suspended solids* (65-75% dari MLSS) (kg/m³)
 kd = Koef. endogen organik (0,04-0,20 gVSS/gVSS.hari)

- *Sludge Retention Time* (SRT)

Waktu retensi lumpur (SRT) menunjukkan waktu tinggal rata-rata mikroorganisme dalam sistem lumpur aktif. Parameter ini berbanding terbalik dengan laju pertumbuhan mikroba. Adapun rumus umur lumpur dapat dihitung sebagai berikut:

$$SRT = \frac{MLVSS \times V}{SSe \times Qe + SSw \times Qw} \dots\dots (8)$$

Dimana: MLVSS = *Mixed liquor volatile suspended solids* (mg/l)

V = Volume reaktor (liter)

SSe = Padatan tersuspensi dalam effluen (ml)

SSw = Padatan tersuspensi dalam lumpur limbah (mg/l)

Qe = Laju effluen limbah (m³/hari)

Qw = Laju influen limbah (m³/hari)

4. Unit Pengendap Akhir (*Final Clarifier/FC*)

Final Clarifier/FC berfungsi untuk mengendapkan lumpur aktif yang mengandung mikroorganisme dari MLSS. Mikroorganisme di dalam lumpur yang masih aktif kemudian diresirkulasi ke pengolahan biologis, sedangkan mikroorganisme di dalam lumpur yang sudah mati akan dialirkan ke pengolahan lumpur. Prinsip dari unit ini ialah pemisahan dari partikel tersuspensi ke dalam fase padat (*sludge*) dan cair. Berikut kriteria desain unit *Final Clarifier* dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Kriteria Desain Unit *Clarifier*

No	Parameter	Nilai
1	<i>Overflow Rate</i>	15 - 40 m ³ /m ² hari

No	Parameter	Nilai
2	<i>Solid Loading Rate</i>	50 - 150 kg/m ² hari
3	<i>Weir Loading</i>	<124 m ³ /m ² hari
4	Waktu Detensi	2 - 6 jam
5	<i>Solid Flux</i>	2 - 4,2 kg/m ² jam
6	Kedalaman	3 - 5 m
7	Diameter	36 - 60 m
8	<i>Slope</i> dasar saluran	60 - 160 mm/m

Sumber: Metcalf & Eddy (2003); Asmadi & Suharno dalam Rosidi (2017)

Dalam Rosidi (2017), disajikan langkah-langkah dalam menghitung *Final Clarifier*, sebagai berikut:

- Zona Pengendapan:

a) Q tiap unit

$$Q_{\text{bak}} = Q_p / \text{jumlah unit} \dots\dots (9)$$

Dimana: Q_{bak} = Debit tiap unit (m³/detik)

Q_p = Debit puncak/*peak* (m³/detik)

b) Luas permukaan unit

$$A_s = Q_{\text{bak}} / \text{OFR} \dots\dots (10)$$

Dimana: A_s = Luas permukaan unit (m³/detik)

Q_{bak} = Debit puncak/*peak* (m³/detik)

OFR = *Over Flow Rate* (m³/m².hari)

c) Volume dan kedalaman

$$V = Q_p / T_d \dots\dots (11)$$

$$H = V / A_s \dots\dots (12)$$

Dimana: V = Volume unit (m³)

Q_p = Debit puncak (m³/detik)

T_d = Waktu tinggal (detik)

A_s = Luas permukaan (m²)

H = Kedalaman zona pengendapan (m)

d) Diameter partikel terkecil

$$D = \left(\frac{18 \times V_s \times v}{g \times (S_s - 1)} \right)^{0,5} \dots\dots (13)$$

Dimana: D = Diameter partikel terkecil (m)

- v = Viskositas kinematik ($m^2/detik$)
 V_s = Kecepatan pengendapan ($m/detik$)
 g = Percepatan gravitasi ($m^2/detik$)
 S_s = *Spesific gravity*

e) Kontrol penggerusan

$$V_{sc} = \left(\frac{8 \times k \times (S_s - 1) \times g \times d}{f} \right)^{0,5} \dots\dots (14)$$

- Dimana: V_{sc} = Kecepatan *scouring* ($m/detik$)
 S_s = *Spesific gravity*
 g = Percepatan gravitasi ($m^2/detik$)
 D = Diameter partikel terkecil (m)

f) Kontrol bilangan Reynold dan Freud

$$N_{re} = \frac{V_h \times R}{v} \dots\dots (15)$$

$$N_{fr} = \frac{V_h}{(g \times R)^{0,5}} \dots\dots (16)$$

- Dimana: N_{re} = Bilangan reynold
 N_{fr} = Bilangan freud
 V_h = Kecepatan horizontal ($m/detik$)
 R = Jari-jari hidrolis (m)
 g = Percepatan gravitasi ($m^2/detik$)
 v = Viskositas kinematis ($m^2/detik$)

• Zona Inlet:

a) Pintu air

$$Q_{bak} = k \times u \times a \times b (2 \times g \times h)^{0,5} \dots\dots (17)$$

- Dimana: Q_{bak} = Debit tiap unit ($m^3/detik$)
 Q_p = Debit puncak/*peak* ($m^3/detik$)
 a = Tinggi bukaan pintu air (m)
 b = Lebar pintu air (m)
 g = Percepatan gravitasi ($m/detik^2$)
 h = Tinggi muka air pada inlet (m)

b) *Perforated baffled*

$$A' = Q_{bak} / (c \times v) \dots\dots (18)$$

$$n = A' / A_L \dots\dots (19)$$

- Dimana: A' = Luas total lubang (m^2)
 Q_{bak} = Debit tiap unit ($m^3/detik$)
 c = Koefisien konstanta lubang
 v = Kecepatan melalui lubang (m/s)
 n = Jumlah lubang
 A_L = Luas permukaan tiap lubang (m^2)

- Zona Lumpur:
 - a) Menentukan produksi lumpur per hari;
 - b) Menghitung dimensi ruang lumpur;
 - c) Menghitung pipa penguras lumpur.

- Zona Outlet:

- a) Panjang total weir

$$L = Q_{bak} / Weir\ Loading \dots\dots (20)$$

- Dimana: L = Panjang total weir (m)
 Q_{bak} = Debit tiap unit ($m^3/detik$)

- b) Dimensi weir

$$Q_{bak} = 1,375 \times b \times h^{0,5} \dots\dots (21)$$

- Dimana: b = Lebar *gutter* (m)
 h = Kedalaman *gutter* (m)

5. Unit Pengering Lumpur (*Sludge Drying Bed/SDB*)

SDB mempunyai fungsi sebagai penampung endapan lumpur dari unit pengolahan biologis, serta untuk membantu proses pengeringan lumpur dengan bantuan alamiah dari penguapan oleh sinar matahari (Dian & Herumurti, 2016; Putri, 2015). Di dalam SDB terdiri atas lapisan kerikil, lapisan pasir, *cake*/lumpur itu sendiri. Lapisan kerikil dengan ketinggian optimum 25 cm dan pasir dengan ketebalan media 15 cm disini mempunyai tugas sebagai penyaring untuk memisahkan cairan dan padatan dari lumpur. Sesuai desain tersebut, maka waktu pengeringan lumpur diperoleh selama 2 minggu dengan ketebalan lumpur 30 cm

(Cofie dkk, 2006). Menurut Putri (2015), berikut kelebihan dan kelemahan dari unit SDB antara lain:

Kelebihan: - Biaya investasi pembangunan unit dan operasional murah;
 - Tidak memerlukan listrik karena proses pengeringan lumpur berjalan secara alami dengan menggunakan sinar matahari.

Kelemahan: - Memerlukan lahan yang luas mengingat lapisan lumpur yang diaplikasikan tidak boleh tebal (maks. 20 cm) untuk mempercepat proses pengeringan;
 - Waktu detensi yang lama;
 - Berpotensi menjadi sarang bagi serangga;
 - Mengeluarkan bau.

Untuk menentukan kapasitas unit SDB, dipertimbangkan beberapa hal antara lain kondisi cuaca, karakter dan volume lumpur yang akan diolah, metode dan jadwal pemindahan/pembuangan lumpur. Dalam BSN-Indonesia (2011), dijelaskan bahwa untuk menentukan kapasitas bangunan lumpur dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

- Luas SDB:

$$SA = \frac{86400 \times Q \times T}{H} \dots\dots (22)$$

Dengan: SA = Luas SDB (m²)
 Q = Kecepatan aliran lumpur (liter/detik)
 T = Waktu pengeringan dibutuhkan (hari)
 H = Ketinggian lumpur awal (mm)

- Waktu pengeringan yang dibutuhkan:

$$T = \frac{30 \times H \times S_0}{aE - bR} > \left(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2} \right) < + td \dots\dots (23)$$

Dengan: T = Waktu pengeringan dibutuhkan (hari)
 H = Ketinggian lumpur awal (mm)
 S₀ = Konsentrasi padatan lumpur baku (%)
 a = Faktor non-dimensi
 E = Penguapan/evaporasi (mm/bulan)

- b = Fraksi curah hujan yang terabsorpsi
- R = Presipitasi bulan hujan (mm/bulan)
- S₁ = Konsentrasi padatan setelah hari Td (%)
- S₂ = Konsentrasi padatan final (%)
- Td = Waktu signifikan infiltrasi (hari)

2.6 Pemanfaatan Hasil Olahan Lumpur Tinja

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2017), salah satu tujuan serta ruang lingkup Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 4 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik yaitu mendorong upaya dalam pemanfaatan dari hasil pengolahan air limbah domestik. Hasil pengolahan yang dimaksud dalam peraturan menteri ini dapat berbentuk cairan, padatan, dan/ atau gas. Aspek penting yang diperhatikan dalam pemanfaatan kembali air limbah yaitu pertimbangan kesehatan. Selain itu, produksi bersih dan teknologi terbarukan juga perlu dipertimbangkan guna meningkatkan produktivitas dan meminimasi timbulan limbah dengan cara pemanfaatan kembali melalui prinsip 5R (*Re-think, Re-use, Reduce, Recycle, dan Recovery*) (Gunawan, 2006).

2.6.1 Pemanfaatan Air Effluen

Menurut Kusumawati dkk (2018), daur ulang air merupakan upaya pengolahan air buangan yang berasal dari rumah tangga sehingga dapat digunakan kembali sesuai keperluan. Tiga tujuan utama pemanfaatan air effluen olahan air limbah domestik, yaitu untuk pertanian, perikanan, dan kebutuhan umum yang meliputi air cuci kendaraan, penyiraman tanaman/taman, alat pendingin udara, air *flushing* toilet, dan suplai air pemadam kebakaran (Jeong, Zhu, Sramkova dalam Kusumawati dkk, 2018; Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017). Daur ulang air limbah sendiri memiliki beberapa keuntungan yang cukup potensial, sebagai berikut: (Prasetyaningtyas, 2012)

- 1) Konservasi suplai air bersih;
- 2) Meningkatkan perlindungan lingkungan dengan mengurangi debit effluen;

- 3) Keuntungan ekonomi dengan mengurangi kebutuhan sumber air;
- 4) Air daur ulang mengandung nutrisi yang dapat mengurangi penggunaan pupuk, terutama jika air digunakan untuk keperluan irigasi.

2.6.2 Pemanfaatan Lumpur Tinja

Salah satu produk samping dalam *wastewater treatment plant* yaitu timbunan limbah lumpur atau *sludge* (Cahyadi, 2016). Menurut Rizkiyah & Yudihanto (2013), kandungan organik yang tinggi pada lumpur tinja berpotensi dijadikan untuk bahan bakar alternatif salah satunya menggunakan metode *biodrying* yang bertujuan mengurangi kandungan air dalam *bio-waste*. Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2017), hasil pengolahan air limbah domestik berbentuk padatan dapat dimanfaatkan kembali dalam bentuk campuran pupuk, campuran kompos untuk tanaman non-pangan, dan bahan bangunan. Ada beberapa opsi lainnya, seperti produksi biogas dalam pencernaan anaerobik lumpur tinja, sebagai *soil conditioner*, dan biofuel misalnya pirolisis, gasifikasi, dan pembakaran (Anonim, 2019).