

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

2.1.1 Definisi Air Limbah Domestik

Air limbah domestik merupakan limbah / buangan yang berasal dari tempat tinggal, fasilitas komersial, maupun fasilitas umum yang terdiri dari buangan kotoran manusia (air seni dan tinja), buangan kamar mandi (sabun mandi, dan lainnya), buangan dapur, dan lain-lain (Metcalf & Eddy, 2003). Dapat diartikan juga, air limbah domestik adalah air limbah hasil pemakaian air dari setiap aktivitas kehidupan manusia sehari-harinya (Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan, 2016). Sedangkan menurut Mara (2004), air limbah domestik yaitu air yang telah digunakan dan berasal dari rumah tangga atau permukiman termasuk didalamnya mengandung bahan-bahan yang ditambahkan ketika air dipergunakan.

Sumber air limbah domestik diantaranya: rumah tangga, daerah komersial, perkantoran, fasilitas umum dan rekreasi, hotel / apartemen, asrama, dan rumah makan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013). Air limbah domestik terdiri dari dua jenis yaitu *black water* dan *grey water*. *Black water* merupakan air limbah mengandung kotoran manusia, terdiri atas: urine, tinja, air pembersih anus, dan air penggelontor kotoran manusia dari jamban (Destio, 2018). sedangkan *grey water* merupakan air limbah berasal dari air mandi bukan toilet, dapur, dan cuci pakaian, terdiri atas: air pembersih sisa makanan, minyak lemak sisa makanan, air pembersih bercampur produk perawatan tubuh untuk mandi (sabun, sampo, pasta gigi), dan lain-lain (Morel & Diener, 2006; Purwatinigrum, 2018).

2.1.2 Karakteristik Air Limbah Domestik

Karakteristik air limbah terbagi menjadi tiga, yaitu karakteristik fisik, karakteristik kimia, dan karakteristik biologis (Metcalf & Eddy, 2014). Karakteristik air limbah domestik terbilang sangat bervariasi, ini dapat disebabkan antara lain volume yang dihasilkan, jumlah pemakai, kebiasaan makan dan minum

pemakai, sumber air limbah, kondisi cuaca dan iklim, dan lain-lain (Putri, 2015). Adapun beberapa karakteristik air limbah, diantaranya:

1. Bau dan Rasa

Bau dan rasa dapat disebabkan oleh mikroorganisme karena adanya gas seperti H_2S dan lainnya. Secara estetika, air yang teridentifikasi bau dan rasa dianggap sebagai gangguan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013).

2. Temperatur / Suhu

Suhu air limbah domestik terkadang lebih tinggi dari temperatur air bersih dengan rentang $18 - 30^{\circ}C$. Peningkatan suhu menyebabkan pertumbuhan bakteri dan mengurangi kelarutan $CaCO_3$ sehingga menimbulkan pengendapan di tangki penyimpanan maupun sistem perpipaan (Morel & Diener, 2006).

3. Warna

Warna awal yang dihasilkan oleh air limbah domestik yaitu warna cokelat muda atau abu-abu muda. Di dalam perjalanan sistem penyalurannya air limbah berubah warna dari abu-abu muda menjadi abu-abu tua dan akhirnya menjadi hitam. Ketika air limbah berwarna hitam dapat dikatakan air limbah dalam kondisi septik (Metcalf & Eddy, 2014).

4. Padatan Total / *Total Solids*

Konsentrasi padatan total pada air limbah merupakan parameter fisik berupa kandungan bahan padatan dalam air limbah, mulai dari yang mengapung, mengendap, tersuspensi dan terlarut (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018; Putra, 2020). 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).

5. Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan ukuran yang menentukan apakah larutan bersifat asam atau basa. pH adalah parameter yang penting dalam pemeriksaan air limbah karena dapat mempengaruhi stabilisasi biologi. pH pada air limbah domestik berkisar $6,5 - 8,4$ (Morel & Diener, 2006).

6. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik dalam 1 liter sampel air menggunakan oksidator $K_2Cr_2O_7$ sebagai sumber oksigen (Metcalf & Eddy, 2003). Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), parameter COD mengindikasikan kandungan organik pada air limbah domestik baik terdegradasi secara biologis maupun non-biologis.

7. *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.

8. Minyak dan Lemak

Menurut Sugiharto dalam Purwatinigrum (2018), minyak dan lemak adalah zat pencemar padatan yang bersifat mengapung di atas permukaan air. Air limbah domestik 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). Minyak dan lemak memiliki berat jenis lebih kecil dari air sehingga dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air (Sulistia & Septisya, 2020).

9. Bakteri Koliform

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

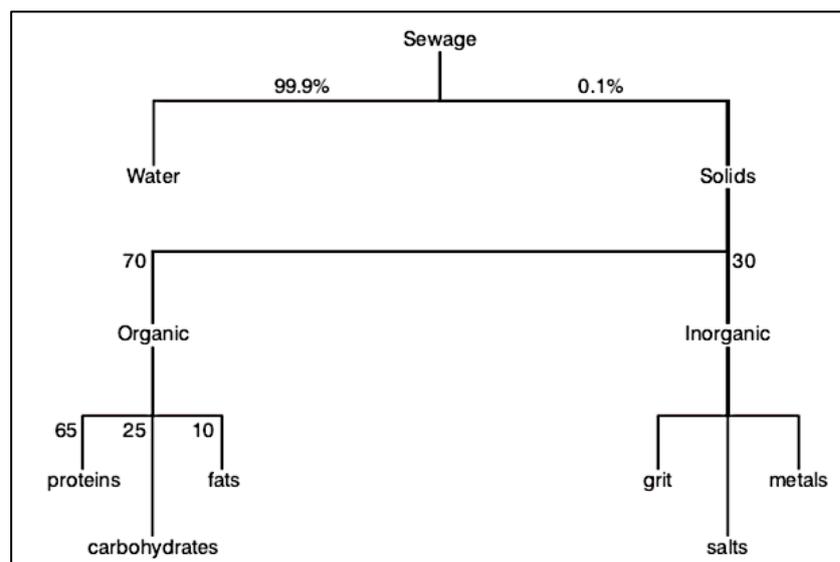
Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), dari sampling beberapa lokasi di Indonesia, air limbah domestik di Indonesia mempunyai karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Sedangkan

untuk komposisi air limbah domestik, hampir lebih dari 99% berisi air itu sendiri sisanya adalah kandungan pencemar dengan kuantitas sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Limbah Domestik di Indonesia

Parameter	Besaran
pH	7 - 7,5
BOD (mg/l)	2.000 - 5.000
COD (mg/l)	6.000 - 15.000
Total Solid (mg/l)	14.000 - 24.000
Total Suspended Solid (mg/l)	10.000 - 20.000
Sludge Volume Index (mg/l)	31 - 40
NH ₄ -N (mg/l)	100 - 250
Minyak dan Lemak (mg/l)	1.000 - 2.000
Total Koliform (CFU/100 ml)	1.600.000 - 5.000.000
Fosfat (mg/l)	8 - 20

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)



Gambar 2.1 Komposisi Air Limbah Domestik

Sumber: Mara (2004)

2.1.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik

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 air limbah yang digunakan merupakan kategori baku mutu air limbah domestik. Baku mutu air limbah domestik skala Provinsi Jawa Timur terdapat pada Tabel 2.2, menunjukkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013.

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik

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

2.1.4 Debit Air Limbah Domestik

Debit air limbah domestik terbagi menjadi tiga, yaitu debit rata-rata air limbah (Q_{ave}), debit jam puncak air limbah (Q_{peak}), debit minimum air limbah (Q_{min}). Debit air limbah domestik secara umum ditentukan dari konsumsi air bersih dengan faktor 70 - 80% dari pemakaian air bersih (Metcalf & Eddy dalam Destio, 2018). Sedangkan, untuk penentuan kebutuhan air bersih per orang hari ditentukan melalui banyaknya penduduk dalam kota tersebut (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013). Berikut penjelasan untuk penentuan debit air limbah domestik:

1. Debit Rata-Rata Air Limbah (Q_{ave})

Diasumsikan besarnya air bersih yang akan menjadi air limbah yaitu 70 - 80% dari penggunaan rata-rata air bersih pada daerah pelayanan. Formula penentuan debit air limbah rata-rata terdapat pada persamaan berikut:

$$Q_{ave} = Q_w \times (70 - 80\%) \dots\dots\dots (2.1)$$

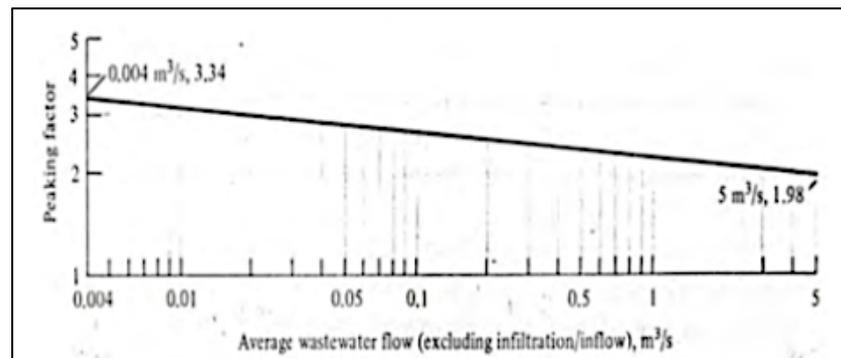
Dimana:

Q_{ave} = debit air limbah rata-rata (liter/orang.hari)

Q_w = debit rata-rata penggunaan air bersih (liter/orang.hari)

2. Debit Puncak Air Limbah (Qpeak)

Debit air limbah puncak dihasilkan dari pola aktivitas masyarakat setempat. Dikatakan jam puncak, dikarenakan ketika masyarakat menggunakan air dalam aktivitas yang menggunakan banyak air seperti bekerja, sekolah, dan kebutuhan pangan. Penentuan debit puncak didapatkan dari hasil perkalian antara faktor puncak dengan debit rata-rata air limbah. Untuk menentukan faktor puncak, diperoleh dari Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik Faktor Puncak

Sumber: Metcalf & Eddy dalam Pratiwi (2015)

Formula penentuan debit puncak air limbah terdapat pada persamaan berikut:

$$Q_{\text{peak}} = Q_{\text{ave}} \times F_{\text{peak}} \quad \text{..... (2.2)}$$

Dimana:

- Q_{peak} = debit air limbah puncak (liter/detik)
- Q_{ave} = debit air limbah rata-rata (liter/detik)
- F_{peak} = faktor puncak

3. Debit Minimum Air Limbah (Qmin)

Dikatakan debit minimum air limbah, karena terjadi ketika masyarakat sedang tidak melaksanakan aktivitas yang melibatkan penggunaan air secara masif, seperti beristirahat pada malam hari. Debit minimum berfungsi sebagai penentuan ukuran saluran dan kedalaman minimum untuk menghindari pengendapan dalam saluran serta menentukan perlu tidaknya penggelontoran (Qasim, 1999). Formula penentuan debit air limbah minimum terdapat pada persamaan berikut:

$$Q_{\text{min}} = 1/5 \times (P)^{1/6} \times Q_{\text{ave}} \quad \text{..... (2.3)}$$

Dimana:

Q_{min} = debit air limbah minimum (liter/detik)

P = jumlah penduduk

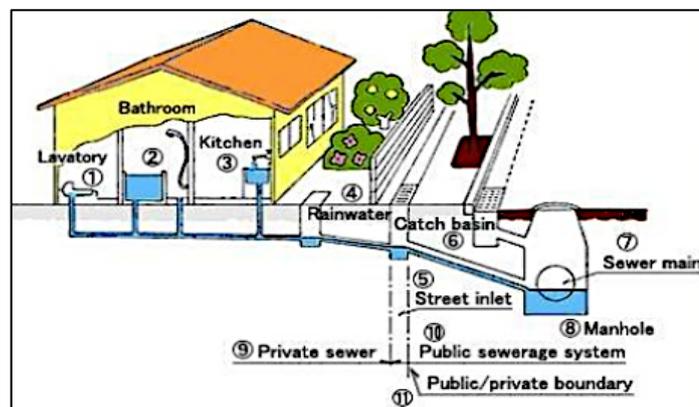
Q_{ave} = debit air limbah rata-rata (liter/detik)

2.1.5 Sistem Penyaluran Air Limbah

Sistem perpipaan pada penyaluran air limbah berfungsi untuk membawa air limbah dari permukiman menuju ke pengolahan agar tidak terjadi pencemaran pada lingkungan sekitar. Sistem penyaluran air limbah terbagi menjadi tiga jenis, antara lain: sistem *conventional sewer*, sistem *shallow sewer*, dan sistem *small bore sewer* (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013).

1. *Conventional Sewer*

Sistem *conventional sewer* merupakan sistem pembuangan air limbah yang didesain untuk menyalurkan padatan dan cairan (*grey water* dan air hujan). Sistem ini dibagi menjadi tiga yakni primer (sistem perpipaan di jalan raya), sekunder dan tersier (sistem perpipaan di tingkat permukiman) (Tilley dkk., 2014).



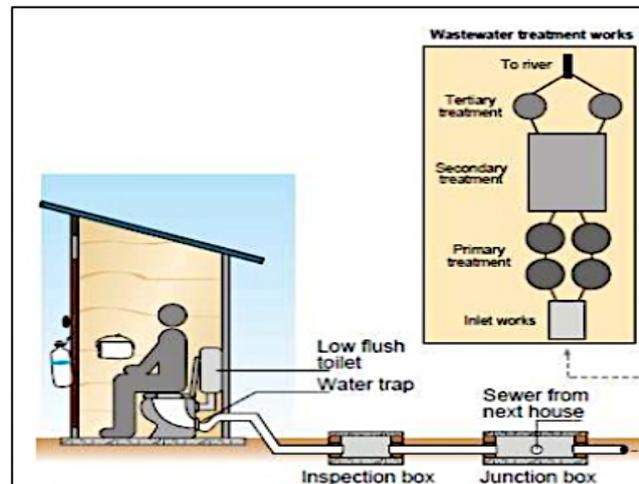
Gambar 2.3 Sistem *Conventional Sewer*

Sumber: EAWAG & SANDEC (2008)

2. *Shallow Sewer*

Sistem *shallow sewer* merupakan sistem pembuangan air limbah dengan sistem perpipaan yang didesain untuk menyalurkan seluruh air limbah rumah tangga berupa padatan dan cairan. Sistem ini cocok untuk diterapkan pada

daerah-daerah yang padat serta sesuai untuk kondisi dimana masyarakat berpenghasilan rendah. *Shallow sewer* sangat bergantung pada pembilasan air buangan untuk mengangkut buangan padatan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013; United Nations Centre for Human Settlements, 1986).

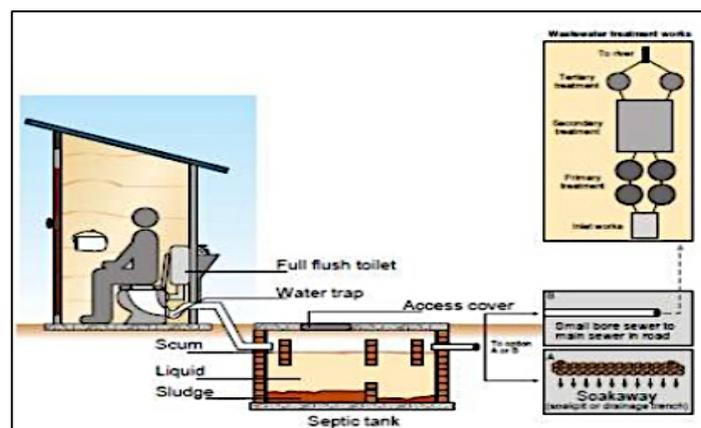


Gambar 2.4 Sistem *Shallow Sewer*

Sumber: Department of Water Affairs and Forestry (2002)

3. *Small Bore Sewer*

Sistem *small bore sewer* merupakan sistem pembuangan air limbah dengan sistem perpipaan yang di desain untuk menyalurkan air limbah rumah tangga yang berupa cairan. Partikel *grit* dan padatan lain perlu dipisahkan di *interceptor* sebelum masuk pada sistem perpipaan agar tidak terjadi penyumbatan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013; Otis & Mara, 1985).



Gambar 2.5 Sistem *Small Bore Sewer*

Sumber: Department of Water Affairs and Forestry (2002)

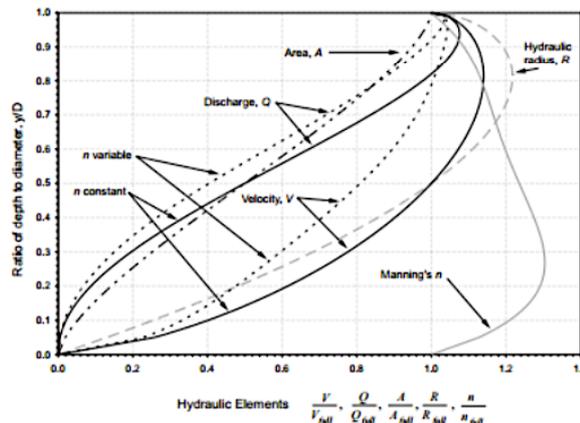
Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan sistem penyaluran air limbah sebagai berikut:

- a. Konstanta *manning* (n) = Pipa HDPE 0,009 - 0,015 (American Concrete Pipe Association, 2012)
- b. Diameter pipa minimum = 100 mm (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2016)
- c. Kecepatan minimum = 0,6 m/detik (Montes dkk. dalam Darmawan, 2018)
- d. Kecepatan maksimum = 3,0 m/s saat kondisi puncak (Aidun dalam Darmawan, 2018)
- e. Tinggi renang minimum (d/D) = 20% dari diameter pipa (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018)
- f. Nilai Q_{peak} / Q_{full} diperoleh dari grafik *Hydraulic Ratios for Circular Cross Section* pada Gambar 2.3.
- g. Kemiringan atau *slope* (S)

$S = \Delta H / L \dots\dots\dots (2.4)$
--

Dimana:

- S = slope (m/m)
- ΔH = beda elevasi (m)
- L = panjang pipa (m)



Gambar 2.6 Grafik *Hydraulic Ratios for Circular Cross Section*
 Sumber: Systems dkk. dalam Destio (2018)

Persamaan *manning* untuk pipa dapat dilihat pada Persamaan 2.5 dan 2.6.

h. *Manning*

$$v = 1/n \times R^{0,667} \times S^{0,5} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

v = kecepatan dalam pipa (m/s)

n = koefisien *manning*

R = radius hidrolis (m²/m)

S = slope (m/m)

i. Diameter pipa

$$D = [(Q_{full} \times n) / (0,3117 \times S^{0,5})] \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

D = diameter pipa (m)

Q_{full} = debit penuh (m³/s)

n = koefisien *manning*

S = slope (m/m)

2.1.6 Bangunan Pelengkap Sistem Penyaluran Air Limbah

Bangunan pelengkap adalah bangunan penunjang yang digunakan untuk memudahkan pemeliharaan serta meningkatkan kinerja sistem pengaliran yang ada, bangunan pelengkap dimaksud diantaranya:

1. Sambungan Rumah

Sambungan rumah digunakan untuk mengalirkan air limbah menuju pipa tersier dengan spesifikasi dari tiap jenisnya sebagai berikut:

a. Pipa dari kloset (*black water*)

- Bahan dari PVC, asbes semen;
- Kemiringan pipa 1-3%.

b. Pipa pengaliran air limbah non tinja (*grey water*)

- Bahan dari PVC atau asbes semen;
- Kemiringan 0,5-1%;
- Khusus air limbah dari dapur harus dilengkapi dengan unit perangkap minyak dan lemak atau *grease trap portable*.

c. *House inlet*

- Luas permukaan minimal 50 x 50 cm (bagian dalam), dan diberi tutup plat beton yang mudah dibuka-tutup;
- Kedalaman bak berkisar antara 40-60 cm, disesuaikan dengan kebutuhan kemiringan pipa persil yang masuk.

d. Lubang inspeksi / *Inspection chamber*

- Jarak antara *inspection chamber* dan *house inlet* ≤ 40 m.
- Ada 3 tipe *inspection chamber* untuk kedalaman hingga 2 m. Untuk kedalaman $\leq 2,5$ m digunakan *manhole* yang dipakai pada sistem konvensional.

2. *Manhole*

Manhole merupakan lubang tempat pemeriksaan pipa dari kotoran yang terbawa aliran. Lokasi penempatan *manhole* sebagai berikut:

- a. Pada jalur saluran yang lurus, dengan jarak tertentu tergantung diameter saluran;
- b. Pada setiap perubahan kemiringan saluran, perubahan diameter, dan perubahan arah aliran, baik vertikal maupun horizontal;
- c. Pada lokasi sambungan, persilangan atau percabangan (*intersection*) dengan pipa atau bangunan lain.

Tabel 2.3 Jarak Antar *Manhole* pada Jalur Lurus

Diameter (mm)	Jarak antar <i>Manhole</i> (m)
20-50	50-75
50-75	75-125
100-150	125-150
150-200	150-200
1000	100-150

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

3. Bangunan Penggelontor

Bangunan penggelontor berfungsi sebagai pembersihan pipa agar tidak terjadi penyumbatan. Aplikasi dari bangunan penggelontor ditempatkan setiap garis pipa dimana kecepatan pembersihan (*self-cleaning*) tidak tercapai akibat

kemiringan tanah / pipa yang terlalu landai atau kurangnya kapasitas aliran. Terdapat dua metode yang digunakan untuk penggelontoran, yaitu:

a. Periode waktu tetap

Metode ini dipilih pada waktu keadaan debit aliran minimum tiap harinya, dimana pada saat itu kedalaman renang air limbah tidak cukup untuk membersihkan tinja atau endapan-endapan.

b. Periode waktu insidental

Metode ini dipilih jika bagian atas (awal) pipa lateral tidak dilengkapi dengan bangunan penggelontor. Air dimasukkan kedalam bangunan perlengkapan pipa dengan debit 15 L/detik, selama 5-15 menit.

4. Stasiun Pompa

Stasiun pompa sebagai stasiun angkat (*lift station*), dipasang pada setiap jarak tertentu pada jaringan perpipaan yang sudah cukup dalam agar air tetap dapat mengalir. Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan zat cair dari permukaan yang rendah ke permukaan yang lebih tinggi. Dalam perencanaan SPAL biasanya digunakan pompa *submersible*, Pompa *submersible* adalah sebuah pompa yang dirancang khusus, dimana motor dan komponen-komponen lainnya tertutup rapat, karena pada penggunaannya nanti seluruh permukaan pompa ini akan terendam ke dalam cairan. Perhitungan *Head* pompa dan daya yang dapat dilihat pada Persamaan 2.7 dan Persamaan 2.8.

Head pompa:

$$H_t = H_{stat} + h_{fs} + \sum h_{ms} + h_{fd} + \sum h_{md} + v_d^2/2g \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

H_t = total *head* (m)

H_{stat} = total *head* statis (m)

h_{fd} (h_{fs}) = headloss friksi (m)

h_{md} (h_{ms}) = headloss aksesoris pipa (m)

v_d = kecepatan (m/s)

Daya Pompa

$$E_p = (\gamma \times Q \times H_t) / P_t \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

E_p = efisiensi pompa (%)

P_t = daya pompa (kW)

Q = debit (m^3/s)

H_t = total *head* (m)

2.1.7 Pengolahan Air Limbah

Proses pengolahan air limbah terbagi menjadi 3 macam proses, antara lain pengolahan secara fisik, pengolahan secara kimia, dan pengolahan secara biologis (Metcalf & Eddy, 2003). Proses-proses pengolahan air limbah tersebut secara aplikasinya dapat dilakukan secara sendiri-sendiri, serta dapat pula untuk dikombinasikan. Karakteristik dan jenis air limbah yang jadi faktor utama dalam memilih proses pengolahan mana yang digunakan. Proses pengolahan air limbah tersebut dijelaskan lebih lanjutnya sebagai berikut:

1. Pengolahan Secara Fisik

Proses pengolahan fisik memiliki tujuan untuk menyisahkan material kasar yang terbawa oleh air limbah seperti sampah, pasir, dan padatan tersuspensi dengan memanfaatkan proses fisik secara alami. Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), beberapa cara dapat dilakukan untuk mengolah air limbah secara fisik, diantaranya:

- a. Pemisahan sampah dari air limbah dengan saringan sampah (*screen*);
- b. Pengendapan atau pemisahan pasir dari air limbah dengan penyisih pasir (*grit chamber*);
- c. Pengendapan material flokulan menggunakan prinsip gravitasi dengan bak sedimentasi (*sedimentation*);
- d. Pemisahan padatan dan cairan menggunakan media penyaring (*filtration*);
- e. Pemisahan partikel padat densitas rendah seperti minyak dan lemak, menggunakan prinsip daya apung dengan flotasi (*flotation*);
- f. Penambahan adsorben guna menumpuk zat kontaminan menggunakan cara adsorpsi (*adsorption*).

2. Pengolahan Secara Kimia

Proses pengolahan kimia memiliki tujuan untuk menghilangkan atau menyisihkan polutan seperti partikel-partikel yang tidak mudah mengendap atau koloid, logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun dengan bantuan zat kimia (Almira, 2018). Terdapat beberapa cara dapat dilakukan untuk mengolah air limbah secara kimia, diantaranya:

- a. Penambahan bahan-bahan kimia bersifat asam dan/atau basa, guna membantu proses pengolahan limbah (*netralization*);
- b. Penambahan koagulan dan flokulan untuk mengelompokkan partikel hingga terjadi gaya tarik menarik atau *van der wals*, dengan bantuan pengadukan hingga menggumpal (*coagulation-floculation*);
- c. Pencampuran gas ozon ke dalam air limbah sebagai pembunuh kuman serta bakteri patogen (*ozonitation*);
- d. Dan lainnya.

3. Pengolahan Secara Biologis

Proses pengolahan biologis memiliki tujuan untuk menguraikan, menghilangkan, dan menstabilkan bahan-bahan pencemar organik terlarut dalam air limbah dengan bantuan mikroorganisme (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018; Metcalf & Eddy, 2003). Secara kebutuhan oksigen, pengolahan biologis terdiri dari dua metode, yaitu pengolahan aerob, dan pengolahan anaerob. Berdasarkan Direktorat PPLP Pekerjaan Umum (2006), pertimbangan dalam memilih metode pengolahan mana yang digunakan terdiri dari: tingkat pencemaran yang harus dihilangkan, besaran beban pencemaran, beban hidrolis, dan standar efluen yang diperkenankan. Perbandingan antara metode pengolahan aerob dan pengolahan anaerob dapat dilihat pada Tabel 2.4.

a. Pengolahan Aerob

Pengolahan secara aerob sangat bergantung pada mikroorganisme dengan kebutuhan oksigen. Terdapat dua proses utama dalam pengolahan aerob yaitu penguraian bahan organik yang disebut dengan proses oksidasi dan proses fermentasi lewat enzim yang dikeluarkan oleh mikroorganisme. Beberapa contoh unit pengolahan aerob, antara lain: *activated sludge*

(lumpur aktif), *oxidation ditch*, *trickling filter*, *aerated lagoon*, dan lainnya.

b. Pengolahan Anaerob

Pengolahan secara anaerob lebih memanfaatkan mikroorganisme yang hidup dalam kondisi tanpa oksigen dalam mengolah air limbah dengan beban organik besar. Seluruh proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme menjadi bahan sederhana dilakukan tanpa oksigen (Direktorat PPLP Pekerjaan Umum, 2006). Beberapa contoh unit pengolahan anaerob, antara lain: *anaerobic ponds*, *anaerobic filter*, *septic tank*, *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB), dan lainnya.

Tabel 2.4 Perbandingan Pengolahan Anaerob dan Aerob

Parameter	Aerob	Anaerob
Kebutuhan energi	Tinggi	Rendah
Efisiensi pengolahan	> 95%	60 - 90%
Produksi lumpur	Tinggi	Rendah
Waktu <i>start up</i>	2 - 4 minggu	2 - 4 bulan
Kebutuhan nutrisi	Tinggi	Rendah
Bau	Tidak	Ya
Produksi biogas	Tidak	Ya

Sumber: Eckenfelder (2001)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pemilihan Sistem Penyaluran Air Limbah

Dalam perencanaan ini dipilih sistem *shallow sewer* yang merupakan sistem pembuangan air limbah dengan sistem perpipaan yang didesain untuk menyalurkan seluruh air limbah rumah tangga berupa padatan dan cairan. Sistem ini cocok untuk diterapkan pada daerah-daerah yang padat serta sesuai untuk kondisi dimana masyarakat berpenghasilan rendah (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013; United Nations Centre for Human Settlements, 1986). Pemilihan sistem penyaluran air limbah dalam perencanaan ini telah disesuaikan dengan kondisi eksisting daerah perencanaan. Kondisi eksisting di wilayah UP I Rungkut diantaranya:

- 1) Kepadatan penduduk: Kecamatan Rungkut 58,71 jiwa/ha; Kecamatan Gunung Anyar 64,35 jiwa/ha; dan Kecamatan Tenggilis Mejoyo 110,85 jiwa/ha (Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2021).
- 2) Permeabilitas tanah: 0,005 m/detik atau dominasi jenis tanah aluvial (Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur, 2018).
- 3) Kemiringan tanah: < 3% (Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur, 2018).
- 4) Muka air tanah: 0-3 mdpl (Ariyanto & Mardyanto, 2016).
- 5) Kondisi kawasan: kepadatan tinggi dan mayoritas memiliki akses air bersih serta kamar mandi pribadi.

Sesuai kondisi eksisting di UP I Rungkut tersebut, sistem *shallow sewer* terpilih karena secara kriteria desain mendekati dengan kondisi eksisting wilayah studi. Adapun kriteria desain sistem *shallow sewer*, dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kriteria Desain Sistem *Shallow Sewer*

No.	Kriteria	Nilai
1.	Kepadatan penduduk	> 150 jiwa/ha
2.	Suplai air bersih	> 60%
3.	Permeabilitas tidak memenuhi syarat	< 0,0416 m/detik
4.	Muka air tanah	< 1,5 m
5.	Kemiringan tanah	< 2%
6.	Diameter pipa minimum	150 mm
7.	Tinggi maksimum genangan air	80% D_{pipa}
8.	Tinggi minimum genangan air	20% D_{pipa}
9.	Kemiringan hidrolis minimum	0,006
10.	Kedalaman penanaman pipa minimum	0,4 m

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

2.2.2 Teknologi Pengolahan Air Limbah Domestik

Teknologi pengolahan air limbah domestik merupakan unit pilihan yang akan digunakan dalam mengolah air limbah domestik, sehingga efluen yang dihasilkan dapat memenuhi baku mutu. Pengolahan air limbah domestik 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). Pemilihan teknologi

pengolahan air limbah domestik ditentukan berdasarkan aspek teknis (efisiensi penyisihan, kebutuhan lahan, dan operasional) dan finansial (biaya konstruksi, operasional, dan *maintenance*).

Dalam perencanaan kali ini, dipilih teknologi pengolahan berupa *Bar Screen* untuk pemisahan sampah atau padatan dengan ukuran besar dari aliran limbah, *Sedimentation Tank* sebagai pengumpul air limbah serta mengendapkan dan memisahkan padatan secara fisik, *Equalization Tank* untuk pemerataan konsentrasi limbah dengan proses *mixing* serta mengendalikan fluktuasi karakteristik air limbah. Kemudian untuk pengolahan utama, direncanakan tiga macam alternatif teknologi pengolahan, diantaranya: *Oxidation Ditch*, *Anaerobic Baffled Reactor*, dan *Food Chain Reactor*. Untuk lebih detailnya, teknologi pengolahan air limbah domestik yang digunakan dijelaskan sebagai berikut:

1. *Manual Bar Screen*

Unit penyaringan atau *bar screen* memiliki tujuan untuk menahan sampah dan benda padat yang berukuran besar (seperti: plastik, kain, kayu, dan kerikil) yang masuk bersama air limbah. Unit ini terdiri dari rangkaian batang dan/ atau pelat berlubang (*perforated plate*), serta bukaannya dapat berbentuk lingkaran, persegi panjang, dan persegi (Qasim & Zhu, 2017). Berdasarkan jarak antar batang (bar/kisi), unit penyaringan dibagi menjadi 3 jenis yaitu saringan kasar (terdiri atas manual *bar screen* dan mekanikal *bar screen*), saringan halus (terdiri atas *static wedgewire*, *step*, *traveling band*, dan *drum*) dan saringan mikro. Saringan halus (*fine screen*) memiliki jarak antar kisi 0,5–6 mm, saringan kasar (*coarse screen*) memiliki jarak antar kisi 6–75 mm, dan saringan mikro (*microscreen*) memiliki jarak antar kisi <0,5 mm (Metcalf & Eddy, 2014; Qasim & Zhu, 2017). Dalam pengolahan limbah di Indonesia, jenis *screen* yang banyak digunakan yaitu jenis saringan kasar dengan tipe *manual bar screen*. Kelebihan dan kekurangan unit *manual bar screen* dapat dilihat pada Tabel 2.6.

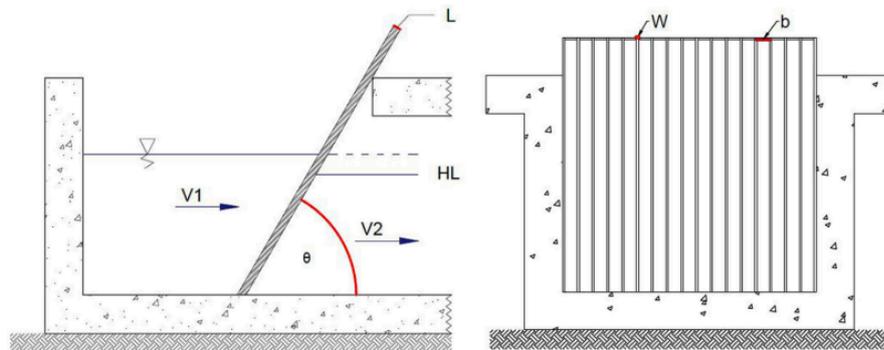
Tabel 2.6 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Manual Bar Screen*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Mudah dioperasikan; 	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat menimbulkan bau dan mengundang lalat akibat

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Tidak membutuhkan operator dengan keahlian khusus. 	sampah yang tertahan pada penyaring; <ul style="list-style-type: none"> • Pembersihan harus dilakukan secara manual dan berkala.

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

Unit *manual bar screen* dapat digunakan pada instalasi pengolahan air limbah dengan debit influen relatif kecil maupun besar. Cara kerja unit ini yaitu air limbah yang masuk akan melewati unit *manual bar screen* yang umumnya terdiri dari kisi atau batang yang disusun berjajar untuk masuk ke unit pengolahan selanjutnya. Sampah-sampah berukuran besar yang ada dalam air limbah akan tertahan pada *bar screen*, kemudian akan dilakukan pembersihan karena jika dibiarkan menumpuk dalam unit tersebut, maka menyebabkan tersumbat dan mengganggu proses. Pembersihan *manual bar screen* dilaksanakan memakai sikat besi dengan gigi-gigi yang disesuaikan dengan jarak antar bar (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Untuk kriteria desain unit *manual bar screen* dapat dilihat pada Tabel 2.7.



Gambar 2.7 Unit *Bar Screen*

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

Tabel 2.7 Kriteria Desain Unit *Manual Bar Screen*

Parameter	Satuan	Nilai
Kecepatan aliran lewat bukaan, v	m/detik	0,3 - 0,6
Lebar kisi, d	mm	4 - 8
Jarak antar kisi, r	mm	25 - 75
Kemiringan horizontal, θ	derajat	45 - 60
Headloss non-clogging, h_L	mm	150

Parameter	Satuan	Nilai
Headloss saat <i>clogging</i> , h_L	mm	800

Sumber: Qasim & Zhu (2017)

Berdasarkan Qasim & Zhu (2017), untuk mengitung desain unit *manual bar screen* dilakukan tahap sebagai berikut:

- Lebar *screen*:

$$L_{screen} = n_{bukaan} \times r + n_{kisi} \times d \dots\dots\dots (2.9)$$

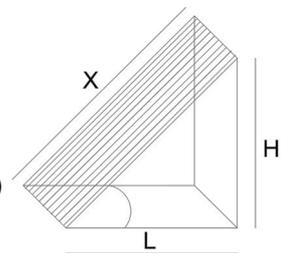
- Dengan: L_{screen} = Lebar *screen* (m)
 n_{bukaan} = Jumlah bukaan (buah)
 r = Jarak antar kisi (m)
 n_{kisi} = Jumlah kisi/bar, $n_{bukaan} - 1$ (buah)
 d = Lebar kisi (m)

- Dimensi *bar screen*:

$$X = \frac{H}{\sin \theta} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$L = \frac{H}{\text{tg } \theta} \dots\dots\dots (2.11)$$

- Dengan: X = Panjang kisi (m)
 L = Panjang *screen* (m)
 H = Tinggi total *screen* (m)
 θ = Kemiringan horizontal (derajat)



- Kecepatan melalui kisi:

$$v_2 = \frac{Q}{n_{bukaan} \times r \times h_{aliran}} \dots\dots\dots (2.12)$$

- Dengan: v_2 = Kecepatan setelah melalui kisi (m/detik)
 Q = Debit (m³/detik)
 h_{aliran} = Tinggi kedalaman air (m)

- *Headloss* saat non-*clogging* dan *clogging*:

$$h_L = \beta \times \left(\frac{w}{b}\right)^{4/3} \times h_v \times \sin \theta \dots\dots\dots (2.13)$$

$$h_L = \frac{1}{cd} \times \frac{(v_2)^2 \times (v)^2}{2 \times g} \dots\dots\dots (2.14)$$

- Dengan: h_L = *Headloss* (m)
 β = Nilai faktor tipe batang

W	= total lebar kisi, $n_{\text{kisi}} \times d$ (m)
b	= total lebar bukaan, $n_{\text{bukaan}} \times r$ (m)
h_v	= head kecepatan aliran masuk <i>screen</i> , $\frac{(v)^2}{2 \times g}$ (m)
C_d	= Koefisien <i>discharge</i> (saat <i>non-clogging</i> = 0,7 & saat <i>clogging</i> = 0,6)
g	= Percepatan gravitasi (9,81 m/detik ²)

2. Sedimentation Tank

Bak sedimentasi atau *sedimentation tank* merupakan unit pengolahan pendahuluan (*primary treatment*) memiliki fungsi utama sebagai pemisahan padatan dan cairan dengan proses pengendapan zat tersuspensi secara gravitasi (Metcalf & Eddy, 2003). Bak sedimentasi pada umumnya mampu menyisahkan 50-70% dari *suspended solid*. Efektivitas proses sedimentasi dalam memisahkan partikel padatan dipengaruhi oleh bilangan Reynold maupun bilangan Froude. Bilangan Reynold untuk mencapai kondisi terbaik dalam proses sedimentasi adalah <2000 atau dalam kondisi laminer. Sedangkan bilangan Froude untuk sedimentasi adalah $>10^{-5}$ (Asmadi & Suharno, 2012; Metcalf & Eddy, 2014). Kelebihan dan kekurangan unit *sedimentation tank* dapat dilihat pada Tabel 2.8.

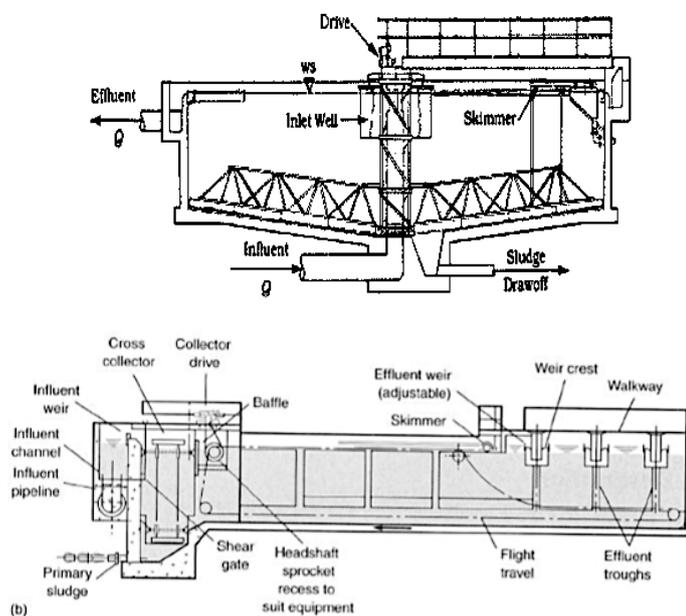
Tabel 2.8 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Sedimentation Tank*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Teknologi yang sederhana; • Biaya konstruksi dan operasi tidak mahal; • Tidak membutuhkan operator berkeahlian khusus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laju beban hidraulik rendah; • Kurang efektif dalam menyisahkan padatan tersuspensi dengan kondisi beban padatan tinggi.

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: *surface loading* (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari. Dalam prosesnya, partikel diwajibkan memiliki kecepatan pengendapan yang lebih besar daripada laju pelimpahan, agar partikel mengendap dan dapat dipisahkan

(Metcalf & Eddy, 2003). Untuk kriteria desain unit *sedimentation tank* dapat dilihat pada Tabel 2.9.



Gambar 2.8 Unit *Sedimentation Tank*

Sumber: Metcalf & Eddy (2014)

Tabel 2.9 Kriteria Desain Unit *Sedimentation Tank*

Parameter	Satuan	Nilai
<i>Detention time, td</i>	jam	1,5 - 2,5
<i>Overflow rate, OFR</i>		
- <i>Average flowrate</i>	m ³ /m ² .hari	30 - 50
- <i>Peak flowrate</i>	m ³ /m ² .hari	80 - 120
<i>Weir loading rate</i>	m ³ /m.hari	125 - 500
<i>Circular Design</i>		
Kedalaman, h	m	3 - 4,9
Diameter, D	m	3 - 60
Kemiringan dasar, slope	mm/mm	1/16 - 1/6
Kecepatan pengendapan, v	m/menit	0,02 - 0,05
<i>Rectangular Design</i>		
Kedalaman, h	m	3 - 4,9
Panjang, p	m	15 - 90
lebar, l	m	3 - 24
Kecepatan pengendapan, v	m/menit	0,6 - 1,2

Sumber: Metcalf & Eddy (2014)

Dalam menghitung desain bak sedimentasi, perlu diketahui bahwa terdapat empat zona dalam bak sedimentasi, yaitu: zona inlet, pengendapan, lumpur, dan outlet. Keempat zona ini perlu dihitung secara terpisah agar proses pengendapan berjalan dengan baik. Berikut merupakan langkah perhitungan bak sedimentasi:

- Zona Pengendapan:

$$\text{Luas permukaan, } A_s = Q / \text{OFR} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan: A_s = Luas permukaan (m^2)
 Q = Debit desain (m^3/hari)
 OFR = *Overflow rate* ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$)

$$D_{\text{inwall}} = 20\% \times D \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan: D_{inwall} = Diameter *inlet wall* (m)
 D = Diameter bak desain (m)

$$\text{Diameter partikel, } D_p = \sqrt{\frac{V_s \times 18 \times \mu}{g \times (sg-1)}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan: D_p = Diameter partikel terkecil yang diendapkan (m)
 V_s = Kecepatan pengendapan (m/detik)
 μ = Viskositas kinematis (m^2/detik)
 g = Percepatan gravitasi (m/detik^2)
 sg = Spesifik gravitasi (1,3)

$$\text{Kontrol bilangan reynold, } N_{re} = \frac{V_h \times R}{v} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\text{Kontrol bilangan froude, } N_{fr} = \frac{V_h}{\sqrt{g \times R}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan: N_{re} = Kontrol bilangan Reynold
 N_{fr} = Kontrol bilangan Froude
 V_h = Kecepatan horizontal ($\frac{Q}{\pi \times D \times H}$) (m/detik)
 R = Jari-jari hidrolis ($\frac{r \times H}{r+2H}$) (m)
 v = Viskositas kinematis (m^2/detik)

$$\text{Kec. Scouring, } V_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times k \times g \times D_p \times (sg-1)}{f}} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan: V_{sc} = Kecepatan *scouring* (m/detik)

- k = Konstanta bentuk (0,04 pasir tidak beraturan; 0,06 partikel berbentuk batang)
- sg = Spesifik gravitasi (1,3)
- f = Koefisien gesek permukaan (0,02-0,03)
(Metcalf & Eddy, 2003)

- Zona Inlet:

Merencanakan pintu air:

$$Q_{bak} = k x u x a x b x \sqrt{2 x g x h} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan: Q_{bak} = Debit air tiap bak (m^3 /detik)

a = Tinggi bukaan pintu air (m)

b = Lebar pintu air (m)

h = Tinggi muka air pada inlet (m)

Merencanakan *perforated baffle*: (jika Nre dan Nfr tidak memenuhi syarat aliran laminar)

$$A' = Q_{bak} / (c x v) \dots\dots\dots (2.22)$$

$$n = A' / A_L \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan: A' = Luas total lubang (m^2)

c = Koefisien konstanta lubang

n = Jumlah lubang (buah)

A_L = Luas permukaan tiap lubang (m^2)

- Zona Lumpur:

Menghitung produksi lumpur tiap hari:

$$W_{TSS} = Q_{bak} x (100\% - \%removal\ TSS) x TSS_{in} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$W_{sludge} = W_{TSS} / \%solid \dots\dots\dots (2.25)$$

$$V_{sludge} = W_{sludge} + \rho_{sludge} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan: W_{TSS} = Berat *suspended solid* (kg/hari)

TSS_{in} = Konsentrasi TSS inlet (g/m^3)

W_{sludge} = Berat lumpur (kg/hari)

$\%solid$ = Kadar padatan lumpur (%)

V_{sludge} = Volume lumpur (m^3)

ρ_{sludge} = Densitas lumpur (kg/m^3)

Menghitung dimensi ruang lumpur: (umumnya berbentuk limas terpancung)

$$V_{sludge} = 1/3 \times h \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2}) \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan: h = Ketinggian zona lumpur (m)

A_1 = Luas atas (m^2)

A_2 = Luas bawah (m^2)

Menghitung pipa penguras lumpur: (diameter pipa berdasarkan spesifikasi pompa dan debit lumpur yang dikuras)

- Zona Outlet:

Menghitung panjang total dan dimensi *weir*:

$$L = Q_{bak} \times weir \text{ loading} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$Q_{bak} = 1,375 \times b \times h^{0,5} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan: L = Panjang total *weir* (m)

Weir loading = Beban yang dapat ditampung pelimpah ($m^3/m^2 \cdot det$)

W_{sludge} = Berat lumpur (kg/hari)

b = Lebar *gutter* (m)

h = Ketinggian air di atas *gutter* (m)

3. Equalization Tank

Bak ekualisasi merupakan unit pengolahan yang bertujuan untuk meminimalkan atau mengendalikan fluktuasi karakteristik air limbah agar dapat memberikan kondisi yang optimal untuk proses pengolahan selanjutnya (Eckenfelder, 2001). Bak ekualisasi berfungsi sebagai pemerata konsentrasi air limbah. Selain itu, bak ekualisasi dapat digunakan untuk mengatasi masalah operasional yang disebabkan oleh variasi debit, yang nanti akan tercapai debit yang konstan dalam sejumlah situasi yang berbeda (Metcalf & Eddy, 2014). Dalam prosesnya, bak ekualisasi dibantu dengan *mixing* atau pengadukan, biasanya dilakukan untuk memastikan pemerataan yang memadai dan untuk mencegah padatan yang mengendap pada dasar bak. Beberapa metode yang telah

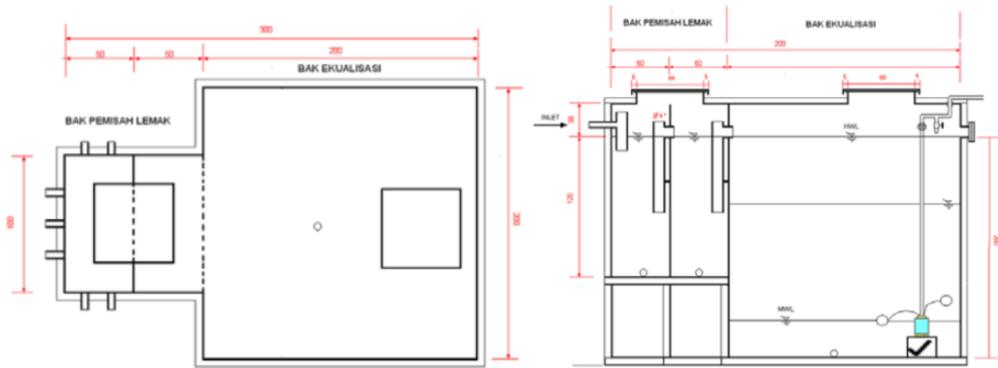
digunakan untuk *mixing* meliputi: distribusi aliran masuk dan penyekat/*baffle*, *mixing* turbin, *diffused air aeration*, *mechanical aeration*, mixer terendam (Eckenfelder, 2001). Kelebihan dan kekurangan unit *equalization tank* dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Equalization Tank*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi pengolahan akan meningkat juga konsentrasi dan debit influen yang merata; • Menyamakan nilai pH sehingga mengurangi kebutuhan bahan kimia (bila menggunakan bahan kimia pada proses selanjutnya). 	<ul style="list-style-type: none"> • Menambah kebutuhan lahan; • Menambah kebutuhan biaya pengadaan, operasi, dan pemeliharaan; • Berpotensi menimbulkan bau.

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

Dalam bangunan IPAL, air limbah yang masuk mempunyai konsentrasi polutan yang berbeda-beda beserta dengan debit influen yang masuk berfluktuasi. Oleh karena itu, bak ekualisasi digunakan demi menyamakan debit serta karakteristik influen limbah yang masuk, juga mengoptimalkan waktu yang dibutuhkan untuk proses selanjutnya. Agar mencegah terbentuknya padatan tersuspensi dalam dasar bak serta untuk meningkatkan konsentrasi *dissolved oxygen* (DO) dan mengurangi beban organik, dalam proses pemerataan konsentrasi air limbah, bak ekualisasi dibantu menggunakan *baffle* pada titik influen / turbin / aerasi dengan diffuser atau aerator dengan waktu tinggal di dalam bak atau *hydraulic retention time* (HRT) yaitu 4-8 jam (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018; Said, 2008). Untuk kriteria desain unit bak ekualisasi dapat dilihat pada Tabel 2.11.



Gambar 2.9 Unit *Equalization Tank*

Sumber: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2011)

Tabel 2.11 Kriteria Desain Unit *Equalization Tank*

Parameter	Satuan	Nilai
Kedalaman air minimum, H_{min}	meter	1,5 - 2
Kemiringan, Slope	-	3:1 - 2:1
<i>Hydraulic retention time</i> , HRT	jam	4 - 8
- Untuk air limbah dengan konsentrasi padatan tersuspensi ≥ 210 mg/l, diperlukan pengaduk 0,004-0,008 kW/m ³ . - Untuk menjaga kondisi aerobik, dibutuhkan suplai udara 0,01-0,015 m ³ /m ³ . menit		

Sumber: Metcalf & Eddy (2014); Said (2008)

Berdasarkan Metcalf & Eddy (2014), untuk mengitung desain unit bak ekualisasi dilakukan tahap sebagai berikut:

- Menentukan volume bak ekualisasi berdasarkan volume kumulatif influen limbah domestik pada setiap jam operasional, dengan cara membuat grafik volume akumulasi limbah domestik serta menggambarkan garis tangen titik terendah dan tertinggi pada diagram akumulasi volume influen juga sejajar dengan garis tangen rerata.
- Volume limbah dalam bak ekualisasi:

$$V_{sc} = V_{sp} + V_{ic} - V_{oc} \dots\dots\dots (2.30)$$

- Dengan: V_{sc} = volume pada suatu periode waktu (m³)
 V_{sp} = volume pada akhir periode waktu sebelumnya (m³)
 V_{ic} = volume influen selama suatu periode waktu (m³)
 V_{oc} = volume efluen selama suatu periode waktu (m³)

- Konsentrasi rerata BOD dalam limbah keluar bak ekualisasi:

$$X_{oc} = \frac{(V_{ic})(X_{ic}) + (V_{sp})(X_{sp})}{V_{ic} + V_{sp}} \dots\dots\dots (2.31)$$

- Dengan: X_{oc} = rerata konsentrasi BOD efluen setelah suatu periode waktu, mg/l
- X_{ic} = rerata konsentrasi BOD influen, mg/l
- X_{sp} = konsentrasi BOD air limbah pada akhir periode waktu sebelumnya, mg/l

4. *Oxidation Ditch*

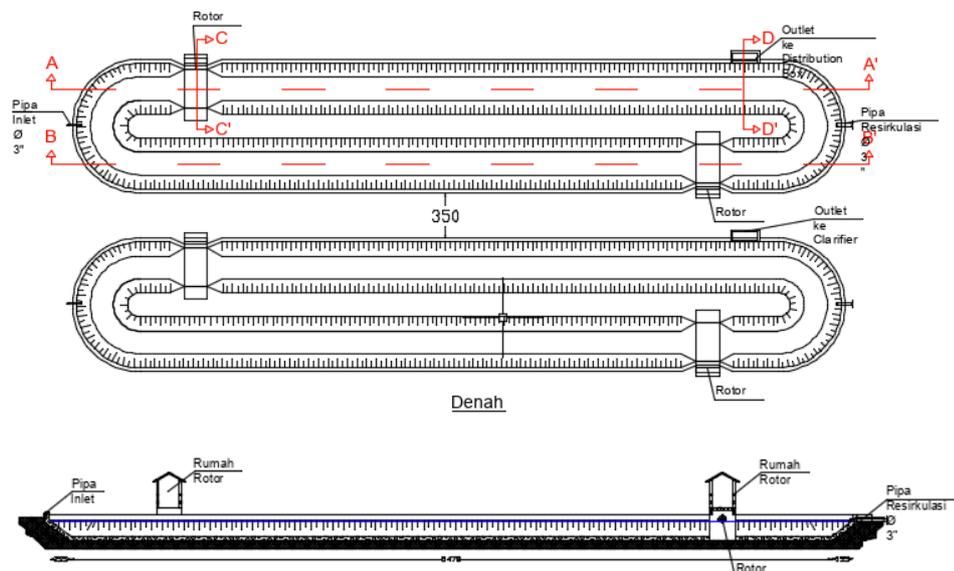
Menurut Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2017), unit *Oxidation Ditch* (OD) merupakan unit modifikasi *activated sludge* atau lebih tepatnya pengembangan metode *extended aeration* dengan proses biologis secara aerobik dan anoksik yang diterapkan pada saluran sirkular dengan kedalaman 1 - 1,5 m, yang dibangun dengan pasangan batu dan/ atau beton bertulang. Unit OD berfungsi untuk menyisihkan konsentrasi bahan organik (BOD, COD, dan nutrien) pada supernatan dengan memanfaatkan mikroorganisme. Air limbah yang masuk dialirkan berputar mengikuti saluran sirkular yang cukup panjang dengan tujuan terjadinya proses aerasi. Alat aerasi yang digunakan berupa alat mekanik rotor berbentuk tabung dengan sikat baja. Rotor diputar melalui poros (*axis*) horizontal dipermukaan air yang disebut *cage rotor*. Kelebihan dan kekurangan unit *oxidation ditch* dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Oxidation Ditch*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Waktu retensi hidraulik yang panjang dan pengadukan yang sempurna mengurangi kemungkinan terjadinya <i>shock loading</i> organik dan hidraulik; dan • Lumpur yang dihasilkan relatif sedikit. 	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi solid tersuspensi masih relatif tinggi jika dibandingkan unit lumpur aktif lain; dan • Kebutuhan luas lahan besar

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

Prinsip kerja unit OD yaitu memanfaatkan mikroorganisme yang tumbuh dalam kondisi aerobik secara tersuspensi yang menjadikan senyawa polutan sebagai sumber makanan. Terjadi proses nitrifikasi dengan waktu retensi *solid* berkisar 12 - 24 hari. Limbah yang masuk ke unit OD akan bercampur dengan lumpur aktif yang mengandung jutaan kultur mikroorganisme. Untuk memenuhi kebutuhan oksigen dalam proses bio-oksidasi dilakukan proses aerasi. Mikroorganisme mengadsorpsi padatan organik terlarut di dalam air limbah dan membentuk flok dan lumpur campuran atau *mixed liquor suspended solids* (MLSS) yang akan mengendap di tangki pengendapan. Selanjutnya, sebagian endapan biomassa berkisar 50 - 75% akan diresirkulasi untuk dicampur kembali dengan influen air limbah untuk mendegradasi beban organik seperti pada proses awal (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Unit OD memiliki efisiensi penyisihan pada beberapa parameter. Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), unit OD dapat meremoval parameter diantaranya: 96% BOD, 97% COD, dan 85% NH₄-N. Sedangkan menurut Qasim dalam Anwar dkk (2008), unit OD dapat meremoval parameter diantaranya: 80 - 90% BOD dan COD, serta 70% NH₄-N. Kriteria desain unit OD ditunjukkan pada Tabel 2.13.



Gambar 2.10 Unit *Oxidation Ditch*

Sumber: Putra (2020)

Tabel 2.13 Kriteria Desain Unit *Oxidation Ditch*

Kriteria	Nilai	Satuan
Waktu retensi solid, SRT	15-30	hari
Waktu retensi hidraulik, HRT	15-30	jam
Rasio F/M	0,03-0,15	-
Konsentrasi lumpur, MLSS	3.000-5.000	mg/l
<i>Organic loading rate</i> , OLR	0,1-0,3	kgBOD/m ³ .hari
<i>Return Activated Sludge</i> , RAS	75-150	%

Sumber: Metcalf & Eddy (2003)

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), untuk menghitung desain unit OD dilakukan tahap-tahap sebagai berikut:

- Menentukan karakteristik air limbah yang diperlukan desain:

COD influen yang dapat didegradasi secara biologis

$$bCOD = \sim 1,6 BOD \dots\dots\dots (2.32)$$

$$bCOD = COD + nbCOD \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana: bCOD = Konsentrasi COD yang dapat didegradasi secara biologis (mg/l)

BOD = Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara biologis (mg/l)

COD = Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara kimia (mg/l)

nbCOD = Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara kimia (mg/l)

- Menghitung kapasitas unit OD:

Volume oxidation ditch

$$V = \frac{Y \times Q \times (S_0 - S_e) \times SRT}{X_d \times (1 + k_d \times SRT)} \dots\dots\dots (2.34)$$

Dengan: Y = Koefisien pembentukan biomassa (rasio perbandingan massa sel yang terbentuk dengan massa substrat yang dikonsumsi) (0,40-0,80 gVSS/gbCOD)

Q = Debit influen rerata (m³/hari)

S₀ = Konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)

- S_e = Konsentrasi senyawa terlarut dalam efluen (mg/l)
 SRT = Waktu retensi lumpur (hari)
 X_d = Konsentrasi MLVSS (konsentrasi mikroorganisme di dalam sistem, dapat diasumsikan 65-75% dari MLSS) (mg/l)
 k_d = Koefisien endogen organik (0,04-0,2 gVSS/gVSS.hari)

Organic loading rate (OLR)

$$OLR = \frac{Q \times S_0}{V} \dots\dots\dots (2.35)$$

- Dengan: OLR = Massa BOD dalam setiap m³ air limbah yang akan diolah oleh mikroorganisme (kg BOD/m³.hari)
 V = Volume unit *oxidation ditch* (m³)
 Q = Debit influen rerata (m³/hari)
 S_0 = Konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)

Rasio F/M

$$F/M = \frac{Q \times S_0}{MLVSS \times V} \dots\dots\dots (2.36)$$

- Dengan: F/M = Jumlah makanan dibandingkan dengan jumlah mikroorganisme
 V = Volume unit *oxidation ditch* (m³)
 Q = Debit influen rerata (m³/hari)
 S_0 = Konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)
 MLVSS = Jumlah biomass aktif yang terbentuk di dalam proses pengolahan menggunakan prinsip *activated sludge* (mg/l)

Waktu retensi hidraulik (HRT)

$$HRT = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (2.37)$$

- Dengan: V = Volume unit *oxidation ditch* (m³)
 Q = Debit influen rerata (m³/hari)

- Menentukan dimensi unit OD: merancang panjang parit (panjang sisi lurus dan panjang sisi melengkung), lebar parit, dan kedalaman parit (kedalaman pada zona aerator dan tinggi *freeboard*).
- Menghitung lumpur dan kebutuhan oksigen:

Jumlah lumpur aktif yang dihasilkan per hari

$$P_{x,BIO} = \frac{Q \times Y \times (S_0 - S)}{1 + (k_d) \times SRT} + \frac{(f_d) \times (k_d) \times Y \times Q \times (S_0 - S) \times SRT}{1 + (k_d) \times SRT} \dots \dots \dots (2.38)$$

Dengan: $P_{x, VSS}$ = Jumlah massa lumpur aktif yang dihasilkan setiap hari (kg VSS/hari)

Q = Debit influen rerata (m^3 /hari)

Y = Koefisien pembentukan biomassa (rasio perbandingan massa sel yang terbentuk dengan massa substrat yang dikonsumsi)

S_0 = Konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)

S = Konsentrasi senyawa terlarut dalam efluen (mg/l)

f_d = Fraksi massa sel yang tersisa sebagai debris (0,15 g/g)

k_d = Koefisien endogen organik (/hari)

SRT = Waktu retensi lumpur (hari)

Debit lumpur

$$Debit\ lumpur = \frac{Massa\ lumpur}{Sg \times \rho\ air \times 1.000\ kg/m^3} \dots \dots \dots (2.39)$$

Dengan: Massa Lumpur = Massa lumpur yang dihasilkan per hari, $\frac{P_{x,bio}}{\% solid}$ (kg/hari)

Sg = Spesifik gravitasi (1,1)

$\rho\ air$ = Massa jenis air (gr/cm^3)

Kebutuhan oksigen (R_0)

$$R_0 = Q \times (S_0 - S) - 1,42 P_{x,bio} \dots \dots \dots (2.40)$$

Dengan: R_0 = Kebutuhan oksigen (kg/hari)

Q = Debit influen rerata (m^3 /hari)

S_0 = Konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)

S = Konsentrasi senyawa terlarut dalam efluen (mg/l)

$P_{x,bio}$ = Biomassa sebagai VSS yang terbangung per hari (kg/hari)

Standard oxygen requirement (SOR)

$$SOR = R_0 \times \left[\frac{(\beta \times C_{walt} \times Fa) - Ct}{C_s} \right] \times 1,024^{T-20} \times \alpha \dots\dots\dots (2.41)$$

Dengan: SOR = Standar kebutuhan oksigen pada suhu operasi (kg/hari)

R_0 = Kebutuhan oksigen (kg/hari)

β = Koefisien kelarutan oksigen (0,95 - 0,98)

α = Koefisien transfer oksigen (sesuai jenis tipe limbah)

C_{walt} = Koefisien walt (sesuai suhu operasi)

Fa = Faktor kesalahan/error (0,9)

C_s = Nilai oksigen terlarut pada permukaan laut (9,17)

C_t = Nilai oksigen terlarut sesuai suhu operasi

T = Suhu atau temperatur proses ($^{\circ}C$)

Kebutuhan udara

$$Keb. udara = \frac{SOR}{Berat\ udara \times \% \text{ Oksigen di udara}} \dots\dots\dots (2.42)$$

Dengan: Keb. udara = Laju udara yang dibutuhkan per hari (m^3 /jam)

SOR = Standar kebutuhan oksigen pada suhu operasi (kg/hari)

Berat udara = Berat oksigen di udara sesuai suhu operasi (kg/m^3)

% O_2 = Prosentase oksigen di udara (23,2 %)

5. *Anaerobic Baffled Reactor*

Anaerobic Baffled Reactor (ABR) merupakan jenis reaktor anaerob laju tinggi yang terdiri dari beberapa kompartemen bervolume sama. Antar tiap kompartemen ABR dipisahkan oleh *hanging* dan *standing baffle* secara selang-seling yang berfungsi memaksa cairan mengalir ke atas dan ke bawah pada tiap kompartemen untuk meningkatkan kontak antara air limbah dan mikroorganisme dalam selimut lumpur pada tiap dasar kompartemen (Hudson dalam Almira, 2018). Konfigurasi ini memberikan waktu kontak yang lebih lama antara biomassa anaerobik dengan air limbah sehingga akan meningkatkan kinerja pengolahan (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat,

2016). Kelebihan dan kekurangan unit *anaerobic baffled reactor* dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Anaerobic Baffled Reactor*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Mampu memisahkan proses asidogenesis dan metanogenesis secara longitudinal; • Desain sederhana, biaya konstruksi relatif murah, biomassa tidak memerlukan karakteristik pengendapan tertentu, lumpur yang dihasilkan rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Memerlukan sumber air yang konstan; • Efluen memerlukan pengolahan sekunder atau dibuang ke tempat yang cocok; dan • Penurunan zat patogen rendah.

Sumber: Morel & Diener (2006)

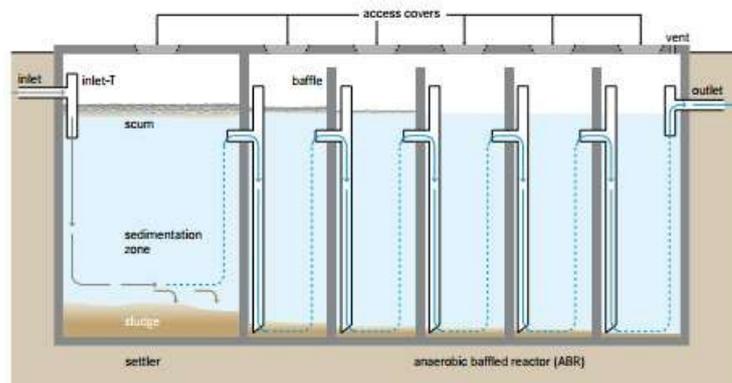
Pengoperasian ABR dirancang agar alirannya turun naik. Aliran seperti ini menyebabkan aliran air limbah yang masuk lebih intensif terkontak dengan biomassa anaerobik, sehingga meningkatkan kinerja pengolahan (Wang dkk. dalam Almira, 2018). Operasi awal ABR memerlukan waktu 3 bulan untuk menstabilkan biomassa di awal proses. Semakin banyak beban organik, semakin tinggi efisiensinya (Morel & Diener, 2006). Selain itu, ABR dapat dirancang secara efisien untuk aliran masuk (*inflow*) harian hingga setara dengan volume air limbah dari 1.000 orang (200.000 liter/hari). ABR terpusat (setengah-terpusat) sangat cocok jika teknologi pengangkutan sudah ada. ABR tidak boleh dipasang jika permukaan air tanah tinggi, karena perembesan (*infiltration*) akan memengaruhi efisiensi pengolahan dan akan mencemari air tanah (Sasse, 1998). Kriteria desain unit ABR ditunjukkan pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Kriteria Desain Unit *Anaerobic Baffled Reactor*

Kriteria	Nilai	Satuan
Debit desain, Q	2-200	m ³ /hari
Waktu retensi hidraulik, HRT	12-96	jam
Kecepatan <i>upflow</i> , v	≤0,6	m/jam
Jumlah kompartemen	3-6	buah
Efisiensi penyisihan: BOD	70-95	%

Kriteria	Nilai	Satuan
COD	65-90	%
TSS	80-90	%

Sumber: Tilley dkk. (2014)



Gambar 2.11 Unit *Anaerobic Baffled Reactor*

Sumber: Tilley dkk. (2014)

Untuk mengitung desain unit ABR dilakukan tahap-tahap sebagai berikut:

- Waktu tinggal hidraulik, (HRT)

$$HRT = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (2.43)$$

Dengan: V = Volume unit ABR (m³)

Q = Debit influen (m³/hari)

- *Organic loading rate* (OLR)

$$OLR = \frac{Q \times S_0}{V} \dots\dots\dots (2.44)$$

Dengan: OLR = Massa BOD dalam setiap m³ air limbah yang akan diolah oleh mikroorganisme (kg BOD/m³.hari)

V = Volume unit ABR (m³)

Q = Debit influen rerata (m³/hari)

S₀ = Konsentrasi COD influen (mg/l)

- V_{up}

$$V_{up} = \frac{Q}{(P \times L)} \dots\dots\dots (2.45)$$

Dengan: Q = Debit influen rerata (m³/hari)

P = Panjang satu kompartemen (m)

L = Lebar satu kompartemen (m)

- *Headloss* (Hf)

$Hf = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.46)$
$f = 1,5 \times \left[(0,01989) + \frac{0,0005078}{4R} \right] \dots\dots\dots (2.47)$

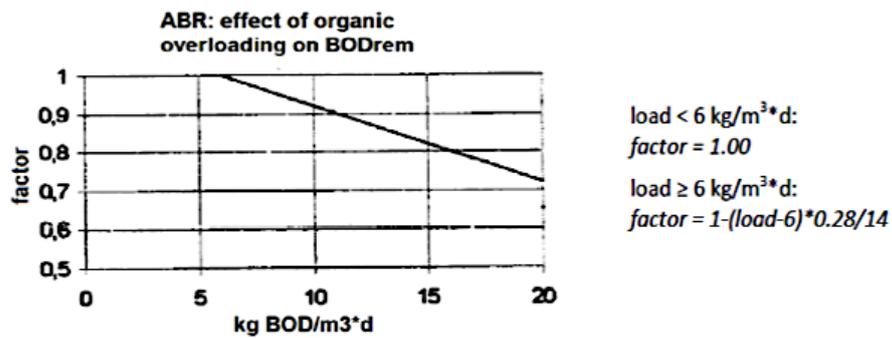
Dengan: L = Panjang unit ABR (m)

R = Jari-jari hidrolis (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

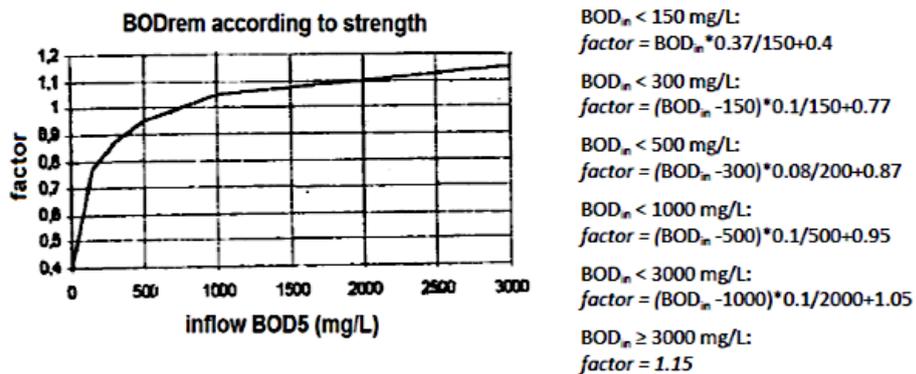
g = Percepatan gravitasi (m/s²)

- Perhitungan kompartemen II menggunakan beberapa parameter grafik diantaranya *Organic Loading Rate* (OLR), *BOD strength*, temperatur, jumlah kompartemen dan *Hidraulic Retention Time* (HRT), sebagai berikut:



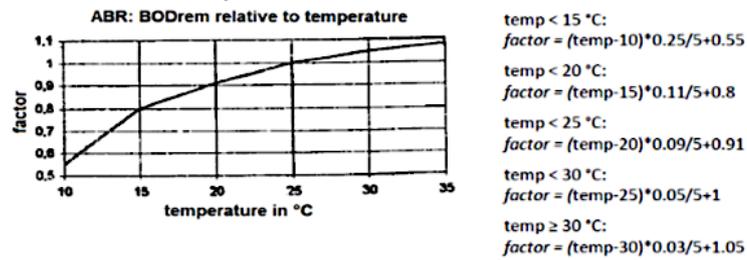
Gambar 2.12 Grafik Hubungan BOD Removal dengan OLR

Sumber: Sasse dkk. (2009)



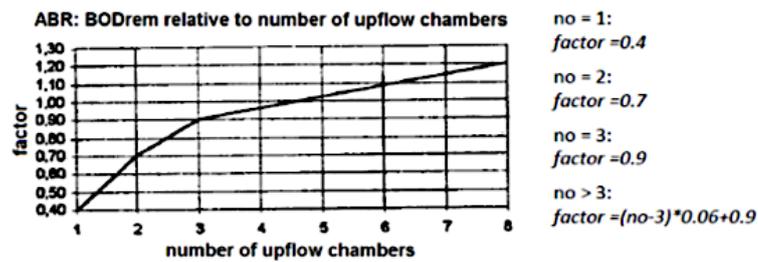
Gambar 2.13 Grafik Hubungan BOD Strength dengan BOD Removal

Sumber: Sasse dkk. (2009)



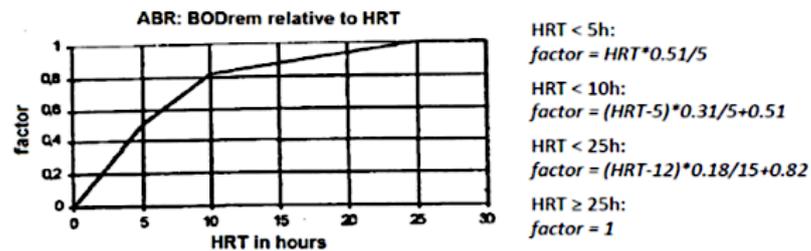
Gambar 2.14 Grafik Hubungan Temperatur dengan BOD *Removal*

Sumber: Sasse dkk. (2009)



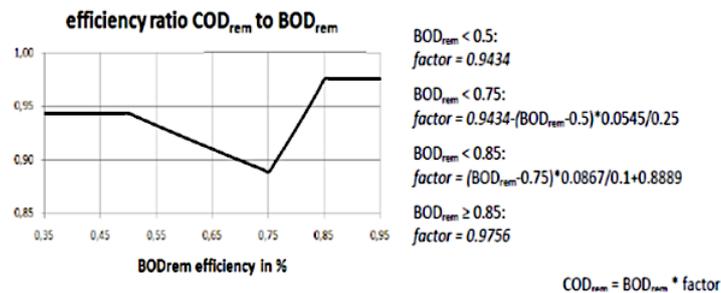
Gambar 2.15 Grafik Hubungan Jumlah Kompartemen dengan BOD *Removal*

Sumber: Sasse dkk. (2009)



Gambar 2.16 Grafik Hubungan HRT dengan BOD *Removal*

Sumber: Sasse dkk. (2009)



Gambar 2.17 Grafik Hubungan BOD dengan COD *Removal*

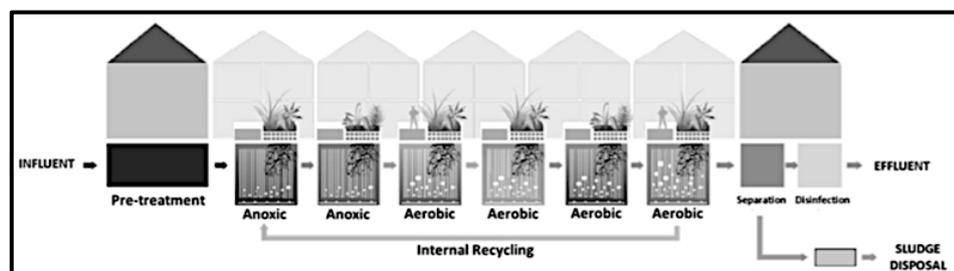
Sumber: Sasse dkk. (2009)

6. Food Chain Reactor

Food Chain Reactor (FCR) merupakan sebuah pengembangan oleh perusahaan bernama *Organica Ecotechnology*, dimana pengolahan biologis hasil kombinasi rekayasa ekologi modern dengan pengolahan konvensional dimana proses teknologi FCR ini menggunakan *bubble aeration* sebagai suplai oksigen untuk mikroba di dalam reaktor. FCR adalah hasil kombinasi teknologi *Intergrated Fixed Film Activated Sludge* (IFAS) dan teknologi yang mirip seperti *Constructed Wetland* (Qin, 2013; Wikaningrum & Hakiki, 2020). Unit FCR memiliki beberapa kelebihan, diantaranya: memiliki efisiensi tinggi pada reduksi lumpurnya karena terjadi proses yaitu biakan tersuspensi dan terlekat sehingga banyak kandungan bahan organik yang terpecah dan membentuk *biofilm*, kemudian lahan yang digunakan kecil sehingga efisien untuk daerah pemukiman padat penduduk, selanjutnya efisiensi penggunaan energi kecil, efisiensi pengolahan besar. Menurut Khaq (2017), kelebihan unit FCR, yaitu:

- Efisiensi tinggi pada reduksi lumpurnya;
- Lahan yang digunakan kecil;
- Efisiensi penggunaan energi kecil;
- Efisiensi penyisihan pengolahan besar.

Proses yang terjadi dalam unit FCR yaitu pembentukan *biofilm* dari media yaitu akar tanaman dalam mereduksi air limbah. Unit FCR terdiri dari 6 tahap, yaitu 2 tahap awal proses anoksik, dan 4 tahap berikutnya aerobik dengan pengaturan kadar oksigen dan konsentrasi MLSS (*mixed liquor suspended solid*) pada masing-masing reaktor yang berbeda. Untuk desain dan tahapan proses dari unit FCR, dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Desain dan Tahap Proses Unit *Food Chain Reactor*

Sumber: Qin (2013)

Efisiensi removal unit FCR pada penurunan kadar BOD, COD, dan TSS cukup tinggi, selain itu unit FCR dapat mereduksi nitrogen dan fosforus, hal ini dikarenakan unit FCR merupakan dua proses gabungan antara biakan terlekat dan tersuspensi sehingga efisiensi removalnya cukup tinggi. Nilai efluen dari hasil proses menggunakan unit FCR dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Kualitas Efluen dari *Food Chain Reactor*

No.	Parameter	Nilai
1.	COD	<45 mg/l
2.	BOD	<10 mg/l
3.	TSS	<10 mg/l
4.	Total N	<10 mg/l
5.	Total P	<0,5 mg/l
6.	NH ₄ N	<0,5 mg/l

Sumber: Khaq (2017); Sari & Rifai (2020); Yuje dkk. (2013)

2.2.3 Review Masterplan Air Limbah Wilayah UP I Rungkut

Masterplan disebut sebagai dokumen dalam perencanaan dasar tentang pengembangan sistem prasarana dan sarana air limbah untuk jangka periode 20 (dua puluh) tahun (Oktiawan dkk., 2018). Dalam *review masterplan* air limbah di wilayah UP I Rungkut, data-data yang diperlukan antara lain: RTRW Kota Surabaya, data pendukung/data perencanaan sejenis/dokumen *masterplan* terdahulu, dokumen Strategi Sanitasi Kota (SSK), hasil studi *Environmental Health Risk Analysis* (EHRA), dokumen Memorandum Program Sanitasi (MPS), dan peraturan-peraturan terkait air limbah (Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur, 2018). Berikut hasil dari *review masterplan* air limbah di wilayah UP I Rungkut:

1. Tata Ruang Wilayah

Pada lingkup UP I Rungkut, tata ruang wilayahnya didominasi oleh permukiman. Hal ini sesuai dengan RTRW Surabaya Tahun 2014-2034, fungsi utama pusat lingkungan pada UP I Rungkut meliputi permukiman, pendidikan, perdagangan & jasa, serta lindung alam dan industri. Lebih jelasnya, luas penggunaan lahan di wilayah UP I Rungkut dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Luas Penggunaan Lahan Wilayah UP I Rungkut

Kecamatan	Luas Jenis Penggunaan Lahan (Ha)				
	Permukiman	Industri	Ladang	Sawah	Badan Air
Rungkut	1.133,52	34	16	16	908,48
Gunung Anyar	631,82	46	-	10	283,18
Tenggilis Mejoyo	460,31	73	-	-	18,69

Sumber: Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur (2018)

2. Demografi atau Kependudukan

Dalam penelitian ini, untuk mendapatkan ukuran perpipaian air limbah diperlukan hasil proyeksi dari penduduk di wilayah UP I Rungkut. Proyeksi penduduk dapat dihitung dengan data demografi di wilayah UP I Rungkut. Berikut data penduduk dan kepadatan penduduk di wilayah UP I Rungkut dapat dilihat pada Tabel 2.18, sedangkan untuk proyeksi penduduk di wilayah UP I Rungkut dapat dilihat pada Lampiran A.

Tabel 2.18 Data Penduduk dan Kepadatan Penduduk Wilayah UP I Rungkut

Kecamatan	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kepadatan Penduduk (Jiwa/km ²)
Rungkut	123.757	5.871
Gunung Anyar	62.482	6.435
Tenggilis Mejoyo	61.187	11.085

Sumber: Badan Pusat Statistik Kota Surabaya (2021)

3. Topografi dan Kemiringan

Berdasarkan Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur (2018), data topografi di Kota Surabaya terbagi menjadi dua, yaitu ketinggian tanah 0 - 10 mdpl meliputi Surabaya utara, timur, selatan dan pusat kota. Sedangkan, untuk ketinggian tanah 10 - 20 mdpl hanya meliputi Surabaya barat. Dari data topografi tersebut, wilayah penelitian pada UP I Rungkut yang selanjutnya akan dibuatkan *detail engineering design* (DED) termasuk dalam kawasan Surabaya bagian timur, yang berarti wilayah penelitian memiliki ketinggian tanah 0 - 10 mdpl. Untuk lebih rincinya, dijelaskan sebagai berikut:

- a. Kecamatan Rungkut : 1 - 5 mdpl
- b. Kecamatan Gunung Anyar : 1 - 2 mdpl
- c. Kecamatan Tenggilis Mejoyo : 4,5 mdpl

Gambaran umum struktur bentang alam di wilayah Surabaya bagian timur merupakan dataran rendah dengan kemiringan lereng <3%, yang terbentuk dari endapan alluvial sungai dan endapan pantai (terdiri atas: lempung lanau, lempung kelanauan, dan sisipan tipis). Untuk wilayah studi di UP I Rungkut, memiliki kemiringan lereng rata-rata 2 - 5% (Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur, 2018).

4. Geologi dan Iklim

Wilayah UP I Rungkut memiliki kondisi geologi dengan jenis diantaranya: dominasi daratan alluvium dan formasi kabuh. Penjelasan kondisi geologi di wilayah UP I Rungkut ditunjukkan pada Tabel 2.19. Sedangkan, untuk kondisi iklim di wilayah UP I Rungkut masuk dalam kategori iklim tropis dengan dua musim yaitu musim hujan dan kemarau. Berdasarkan Badan Pusat Statistik Kota Surabaya (2021), data hasil pantauan dari Stasiun Meteorologi Juanda menunjukkan suhu rata-rata antara 27,04 - 29,06 °C, dengan curah hujan cukup tinggi sepanjang tahun.

Tabel 2.19 Kondisi Geologi Wilayah UP I Rungkut

Jenis	Karakteristik	Lokasi
Daratan Alluvium	Mempunyai kandungan kerakal, kerikil, lempung, dan pecahan cangkangan fosil.	Surabaya timur menyusur ke arah pesisir timur.
Formasi Kabuh	Kandungan batu pasir dan kerikil, berwarna kelabu tua, berbutir kasar, berstruktur perairan dan silang siur, konglomerat, terpilah buruk, kemas terbuka dan struktur lapisan bersusun.	Kecamatan Rungkut dan Tenggilis Mejoyo

Sumber: Walikota Surabaya (2014)

5. Jenis Tanah dan Permeabilitas Tanah

Jenis tanah di wilayah UP I Rungkut didominasi oleh jenis tanah Alluvial dengan nilai permeabilitas tanah yaitu 0,005 m/detik (Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur, 2018). Umumnya, kemampuan tanah di Kota Surabaya mempunyai kedalaman efektif >90 cm, dengan struktur halus dan tidak terdapat erosi.

6. Kondisi Kesehatan Masyarakat

Kondisi kesehatan masyarakat berbanding lurus dengan kondisi sanitasi lingkungan. Penyakit pada sistem pencernaan yang menjadi masalah utama dalam menghadapi kondisi sanitasi khususnya air limbah. Kondisi kesehatan masyarakat, khususnya angka kesakitan pada sistem pencernaan dari penyakit bawaan air di wilayah UP I Rungkut dapat dilihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Angka Kesakitan Pada Sistem Pencernaan

Kelurahan	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Persentase (%)
Kalirungkut	3.313	16,14
Rungkut Kidul		
Kedung Baruk		
Medokan Ayu		
Penjaringansari		
Wonorejo	4.154	17,28
Tenggilis		
Panjang Jiwo		
Kendang Sari		
Kutisari	3.296	22,08
Gunung Anyar		
Gunung Anyar Tambak		
Rungkut Menanggal		
Rungkut Tengah		

Sumber: Dinas Kesehatan Kota Surabaya dalam Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur (2018)

Salah satu masalah utama terjangkitnya penyakit pada sistem pencernaan di wilayah UP I Rungkut yaitu masyarakat yang masih Buang Air Besar Sembarang (BABS). Masyarakat BABS merupakan kondisi masyarakat yang tidak

mempunyai jamban maupun mempunyai jamban dengan tidak ada pengolahan untuk tinjanya atau mengalir langsung ke badan air. Daftar wilayah UP I Rungkut yang masyarakatnya masih BABS dapat dilihat pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21 Daftar Masyarakat BABS Wilayah UP I Rungkut

Kecamatan	Kelurahan	BABS (KK)
Rungkut	Kalirungkut	0
	Rungkut Kidul	0
	Kedung Baruk	0
	Penjaringansari	0
	Wonorejo	0
	Medokan Ayu	0
Tenggilis Mejoyo	Kutisari	0
	Kendangsari	53
	Tenggilis Mejoyo	57
	Panjang Jiwo	69
Gunung Anyar	Gunung Anyar	129
	Rungkut Tengah	230
	Rungkut Menanggal	89
	Gunung Anyar Tambak	187

Sumber: Dinas Kesehatan Kota Surabaya dalam Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur (2018)

Upaya revitalisasi dan pembenahan sanitasi lingkungan dibutuhkan untuk meminimalisir angka terjangkitnya penyakit sistem pencernaan. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan pembangunan dan perbaikan sarana prasarana sanitasi pada kawasan prioritas sesuai Surat Keputusan (SK) Kawasan Kumuh. Berdasarkan Keputusan Walikota Surabaya (2015), daerah pada wilayah UP I Rungkut yang masuk dalam kawasan prioritas rawan sanitasi antara lain:

- a. Prioritas I : Kel. Rungkut Kidul dan Kel. Kalirungkut
- b. Prioritas II : Kel. Kutisari
- c. Prioritas III : Kel. Gunung Anyar Tambak

7. Kondisi Kelembagaan

Kelembagaan yang mempunyai fungsi dan tugas dalam lingkup pengelola air limbah domestik di Kota Surabaya sudah diatur dalam Peraturan Daerah dan Peraturan Walikota Surabaya. Instansi kelembagaan di bawah naungan Pemerintah Kota Surabaya terkait air limbah terdiri dari tiga instansi, yaitu:

- a. Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman Cipta Karya dan Tata Ruang sebagai instansi dalam melaksanakan pembangunan/konstruksi;
- b. Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau sebagai instansi dalam melaksanakan pengelolaan;
- c. Dinas Lingkungan Hidup sebagai instansi dalam melaksanakan pengawasan.

8. Kondisi Keuangan

Berdasarkan data, selama 5 tahun terakhir rata-rata pertumbuhan pendanaan dalam alokasi belanja sektor sanitasi di Kota Surabaya meningkat 34%/tahun (Kelompok Kerja Sanitasi, 2010; Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur, 2018).

No	Uraian	Belanja Sanitasi (Rp.)					Rata-rata Pertumbuhan
		2013	2014	2015	2016	2017	
1	Belanja Sanitasi (1.1+1.2+1.3+1.4)	595,462,597	683,585,668	729,572,105	717,036,789	1,008,329,427	34%
1.1	Air Limbah Domestik	5,708,735	6,936,080	4,653,801	6,487,209	8,612,010	33%
1.2	Sampah rumah tangga	168,874,068	226,571,868	170,071,693	168,610,933	191,894,481	14%
1.3	Drainase lingkungan	420,879,794	450,077,720	554,846,611	541,938,647	807,822,937	49%
2	Dana Alokasi Khusus (2.1+2.2+2.3)	9,185,378	8,499,253	8,499,253	5,007,207	5,749,318	4%
2.1	DAK Sanitasi	6,623,553	6,598,978	6,598,978	5,007,207	5,749,318	15%
2.2	DAK Lingkungan Hidup	2,561,825	1,900,275	1,900,275	0	0	-24%
2.3	DAK Perumahan dan Permukiman	0	0	0	0	0	0%
3	Pinjaman/Hibah untuk Sanitasi	0	0	0	0	0	0%
	Belanja APBD murni untuk Sanitasi (1-2-3)	586,277,219	675,086,415	721,072,852	712,029,582	1,002,580,109	35%
	Total Belanja Langsung	2,430,904,524	3,112,358,043	3,591,670,192	4,288,087,412	3,897,947,538	-9%
	% APBD murni terhadap Belanja Langsung	24.1%	21.7%	20.1%	16.6%	25.7%	-12%
	Komitmen Pendanaan APBD untuk pendanaan sanitasi ke depan (% terhadap belanja langsung ataupun penetapan nilai)						18%

Gambar 2.19 Perhitungan Pertumbuhan Pendanaan APBD Kota Surabaya

Sumber: Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur (2018)

Dari Gambar 2.19, dijelaskan bahwa rata-rata pertumbuhan belanja sanitasi naik hingga 34%/tahun, dengan dana alokasi khusus sebesar 4%/tahun, dan komitmen pendanaan APBD untuk sanitasi ke depan naik 18%/tahun.

No	Uraian	Perkiraan Belanja Murni Sanitasi (Rp.)					Total Pendanaan
		2018	2019	2020	2021	2022	
1	Perkiraan Belanja Langsung	5,755,413,855	6,676,280,072	7,744,484,883	8,983,602,464	8,166,254,029	37,326,035,303
2	Perkiraan APBD Murni untuk Sanitasi	1,294,366,967	1,747,395,405	2,358,983,797	3,184,628,126	4,288,291,918	12,873,666,213
3	Perkiraan Komitmen Pendanaan Sanitasi	1,488,522,012	2,009,504,716	2,712,831,366	3,662,322,344	4,323,351,693	14,196,532,131

Gambar 2.20 Perkiraan Besaran Pendanaan Sanitasi Kota Surabaya

Sumber: Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur (2018)

Dari data 2013-2017, diasumsikan pertumbuhan belanja langsung -9%/tahun dan APBD murni untuk sanitasi 35%, didapatkan hasil seperti Gambar 2.20. Dari asumsi tersebut, dapat diketahui bahwa perkiraan APBD murni untuk belanja langsung tiap tahunnya akan meningkat.

No	Uraian	Pendanaan (Rp)					Total Pendanaan
		2018	2019	2020	2021	2022	
1	Perkiraan Kebutuhan Operasional / Pemeliharaan	427,365,221	529,407,835	263,428,346	220,968,448	197,478,412	1,638,648,262
2	Perkiraan APBD Murni untuk Sanitasi	1,294,366,967	1,747,395,405	2,358,983,797	3,184,628,126	4,288,291,918	12,873,666,213
3	Perkiraan Komitmen Pendanaan Sanitasi	1,488,522,012	2,009,504,716	2,712,831,366	3,662,322,344	4,323,351,693	14,196,532,131
4	Kemampuan Mendanai SSK (APBD Murni) (2-1)	867,001,746	1,217,987,570	2,095,555,451	2,963,659,678	4,090,813,506	11,235,017,951
5	Kemampuan Mendanai SSK (Komitmen) (3-1)	1,061,156,791	1,480,096,881	2,449,403,020	3,441,353,896	4,125,873,280	12,557,883,868

Gambar 2.21 Perkiraan Kemampuan APBD Kota Surabaya Dalam Mendanai Program SSK

Sumber: Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur (2018)

Pada Gambar 2.21, didapatkan hasil bahwa kemampuan APBD Murni dalam mendanai program SSK naik tiap tahunnya dan mencapai angka Rp. 11.235.017.951. Untuk APBD Komitmen, juga mengalami kenaikan hingga mencapai angka Rp. 12.557.883.868.

9. Penelaahan Studi *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA)

Tingkat kesadaran masyarakat Kota Surabaya dalam kepemilikan jamban pribadi termasuk dalam kategori tinggi yakni sebesar 91%, pemanfaatan MCK umum sebesar 7,63%, pemanfaatan selokan sebagai pembuangan sebesar 1%, dan BABS sebesar 0,27%. Pemakaian tangki septik yang ramah lingkungan juga sesuai dengan kriteria desain menjadi perhatian khusus pemerintah daerah untuk

melakukan sosialisasi dan percontohan dalam pembuatan tangki septik dengan target pengurusan <5 tahun sebesar 50%. Selain hal tersebut, perhatian khusus pemerintah daerah yaitu dalam peningkatan Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT) demi peningkatan pelayanan di IPLT Keputih sendiri. Karena menurut data, sebesar 86,9% masyarakat Kota Surabaya tidak mengetahui akan keberadaan dari IPLT Keputih (Dinas Kesehatan Kota Surabaya, 2015).

10. Penelaahan Kajian Buku Putih Sanitasi

Berdasarkan Kelompok Kerja Sanitasi (2010), area beresiko sanitasi air limbah domestik di Kota Surabaya dibedakan menjadi empat kategori, yakni merah (resiko sangat tinggi), kuning (resiko tinggi), hijau (resiko rendah), dan biru (resiko sangat rendah). Dari hasil kajian tersebut, untuk wilayah UP I Rungkut area beresiko terhadap sanitasi sektor air limbah dapat dilihat pada Tabel 2.22.

Tabel 2.22 Area Beresiko Sanitasi Sektor Air Limbah Wilayah UP I Rungkut

Kategori	Kelurahan	Kecamatan
Resiko Sangat Tinggi	-	-
Resiko Tinggi	Kalirungkut	Rungkut
Resiko Rendah	Rungkut Kidul	Rungkut
	Wonorejo	Rungkut
	Kutisari	Tenggilis Mejoyo
	Tenggilis Mejoyo	Tenggilis Mejoyo
	Rungkut Tengah	Gunung Anyar
	Gunung Anyar Tambak	Gunung Anyar
Resiko Sangat Rendah	Kedung Baruk	Rungkut
	Penjaringan Sari	Rungkut
	Medokan Ayu	Rungkut
	Kendangsari	Tenggilis Mejoyo
	Panjang Jiwo	Tenggilis Mejoyo
	Gunung Anyar	Gunung Anyar
	Rungkut Menanggal	Gunung Anyar

Sumber: Kelompok Kerja Sanitasi (2010)

Tahapan pengembangan sanitasi sektor air limbah domestik dilakukan dengan menentukan wilayah prioritas pengembangan sistem pengelolaan air

limbah. Dalam SSK Kota Surabaya, rencana pengembangan sistem pengelolaan air limbah di wilayah UP I Rungkut masuk dalam prioritas Zona 4 yang berarti area dengan resiko sangat tinggi dikarenakan permukiman padat penduduk. Sistem yang terpilih yakni *off-site* terpusat dengan jangka panjang (Kelompok Kerja Sanitasi, 2010).

11. Penetapan Zona Prioritas

Pengembangan SPALD Kota Surabaya ditetapkan menggunakan zona prioritas dengan penetapannya mengacu pada Peraturan Menteri PUPR No. 4 Tahun 2017. Dari skoring dan rata-rata yang telah dilakukan Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur (2018), untuk wilayah UP I Rungkut masuk dalam Zona Prioritas 2. Analisis penetapan Zona Prioritas 2 untuk wilayah UP I Rungkut dapat dilihat pada Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Analisis Penetapan Zona Prioritas 2 Untuk Wilayah UP I Rungkut

Analisa	Skor	Kategori	Keterangan
Beban Pencemaran / BOD	1	BOD <50 kg/hari (sangat rendah)	-
Angka Resiko Sanitasi	2	Wilayah resiko rendah	- Kec. Rungkut mayoritas beresiko rendah; - Kec. Tenggilis Mejoyo terbagi resiko tinggi dan sedang; - Kec. Gunung Anyar 50% resiko sedang.
Angka Kejadian Penyakit	1	Kejadian penyakit <0,5 per 1000 jiwa (rendah)	-
Kekumuhan	2	Kawasan prioritas II	- Kec. Tenggilis Mejoyo terdapat kawasan yang prioritas I dan II; - Kec. Gunung Anyar terdapat kawasan yang prioritas III.
Daerah Permukiman Pinggir Sungai	3	Berada di seberang sungai (sedang)	- Kec. Rungkut dan Tenggilis Mejoyo daerah yang terdapat

Analisa	Skor	Kategori	Keterangan
			permukiman pinggir sungai;

Sumber: Satuan Kerja PPLP Provinsi Jawa Timur (2018)

12. Hasil *Review* Rencana Induk dan FS *Masterplan* Air Limbah Tahun 2011

Indonesia *Infrastructure Initiatives* - Mott Macdonald tahun 2011 telah menyusun dokumen rencana induk dan *feasibility study* (FS) air limbah Kota Surabaya. Dokumen tersebut menjelaskan arahan dan target pengembangan air limbah Kota Surabaya dengan periode waktu 2010-2030. Hasil *review* dari dokumen tersebut antara lain:

- a. Sistem pengembangan pengelolaan air limbah dilaksanakan secara *off-site*, *intermediate*, dan *on-site*;
- b. Pengurangan kasus BABS hingga 50% pada tahun 2015, dan peningkatan pelayanan lumpur tinja ke IPLT hingga 75%;
- c. Pengurangan atau bebas kasus BABS hingga 100% pada tahun 2020, dengan 40 daerah padat penduduk terlayani sistem *off-site*, dan pelayanan lumpur tinja mencapai 100% sistem *on-site*;
- d. Wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi sebesar 70% terlayani sistem *off-site* pada tahun 2030, sedangkan sisanya terlayani dengan sistem *intermediate*.

13. Hasil *Review* Studi Kelayakan Air Limbah Kota Surabaya Tahun 2012

Sistem pengolahan air limbah di Kota Surabaya dikembangkan menjadi lima wilayah pengembangan, salah satunya yakni wilayah Surabaya Timur. Untuk sistem pengolahan air limbah di wilayah Surabaya bagian timur yang akan dikembangkan, direkomendasikan dengan sistem pengolahan sebagai berikut.

Tabel 2.24 Arahan Sistem Air Limbah Wilayah Pelayanan Surabaya Timur

Sistem yang Diusulkan	Tipe dan Kapasitas Layanan	Jumlah Unit
MCK++	MCK++ 100 KK	60
	MCK++ 90 KK	1
	MCK++ 60 KK	64

Sistem yang Diusulkan	Tipe dan Kapasitas Layanan	Jumlah Unit
	MCK++ 30 KK	4
	MCK++ 20 KK	1
IPAL Komunal	IPAL 100 KK	1.836
	IPAL 60 KK	1.161
	IPAL 30 KK	32
IPAL Kota	Kapasitas SR: 2.130 KK	1

Sumber: Dokumen FS Air Limbah Kota Surabaya dalam Satuan Kerja PPLP
Provinsi Jawa Timur (2018)

2.3 Penelitian dan Perencanaan Terdahulu

No.	Sumber	Judul	Kebutuhan Data	Hasil
1.	(Destio, 2018)	Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Putat Jaya, Surabaya	<p>Data Primer:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Data karakteristik air limbah; 2. Data elevasi muka tanah; 3. Lahan IPAL. <p>Data Sekunder:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Data baku mutu air limbah domestik; 2. Peta Administratif dan topografi; 3. Data Kependudukan; 4. Debit Pemakaian Air Bersih; 5. Peta Jaringan SPAM dan Saluran Drainase; 6. Teknis pengoperasian dan pemeliharaan unit IPAL Rangkaian SNI-DT 2007; 7. HSPK Kota Surabaya tahun 2017. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penentuan alternatif teknologi pengolahan air limbah yang digunakan; 2. Perhitungan debit dan karakteristik air limbah yang diolah; 3. Penentuan kriteria perencanaan; 4. Penyusunan DED unit-unit SPAL dan IPAL; 5. Pembuatan gambar unit-unit SPAL dan IPAL rencana; 6. Penyusunan profil hidrolis; 7. Penyusunan prosedur pengoperasian dan pemeliharaan; 8. Penyusunan BOQ dan RAB; 9. Analisis ekonomi terkait biaya investasi dan OM.

No.	Sumber	Judul	Kebutuhan Data	Hasil
2.	(Darmawan, 2018)	Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Bulak Banteng, Kota Surabaya	<p>Data Primer:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Observasi lapangan; 2. Data kualitas air limbah domestik; 3. Elevasi. <p>Data Sekunder:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Data baku mutu air limbah domestik; 2. Debit penggunaan air; 3. Data Kependudukan; 4. Data HSPK Kota Surabaya tahun 2017. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil survei masyarakat; 2. Perhitungan debit dan karakteristik air limbah yang diolah; 3. Alternatif SPAL dan IPAL; 4. Penyusunan DED SPAL dan IPAL; 5. Pembuatan gambar SPAL dan IPAL rencana; 6. Penyusunan BOQ, RAB, dan biaya O&M.
3.	(Khaq, 2017)	Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Kombinasi <i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR) & Hybrid Aero-Plant Reactor System (HAPS)</i> Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo	<p>Data Primer:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Observasi lapangan; 2. Data kualitas air limbah domestik; 3. Elevasi; 4. Lahan IPAL; 5. Kondisi eksisting; 6. Jalur pipa primer. <p>Data Sekunder:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Data baku mutu air limbah domestik; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistem jaringan SPAL; 2. Perhitungan debit dan karakteristik air limbah yang diolah; 3. Alternatif SPAL dan IPAL; 4. Penyusunan DED SPAL dan IPAL; 5. Pembuatan gambar SPAL dan IPAL rencana; 6. Penyusunan BOQ dan RAB.

No.	Sumber	Judul	Kebutuhan Data	Hasil
			2. Peta wilayah dan topografi; 3. Debit penggunaan air; 4. Data Kependudukan; 5. Data HSPK Kabupaten Sidoarjo.	
4.	(Damayanti, 2016)	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya	Data Primer: 1. Data debit air bersih; 2. Lahan IPAL; 3. Kondisi eksisting; 4. Kualitas air limbah. Data Sekunder: 1. Data Kependudukan; 2. Data terkait sanitasi dan air limbah domestik; 3. Peta wilayah.	1. Perhitungan debit dan karakteristik air limbah yang diolah; 2. Alternatif pengolahan; 3. Penyusunan DED; 4. Pertimbangan tata letak dan rancang bangunan; 5. Penyusunan BOQ dan RAB;
5.	(Hidayah dkk., 2020)	<i>Efficiency of a Pilot Hybrid Wastewater Treatment System Comprising Activated Sludge and Constructed Wetlands Planted</i>	Data Primer: 1. Suhu kondisi eksisting; 2. Lahan; 3. Kualitas air limbah.	AS-CWC dan AS-CWP dapat meningkatkan kualitas air limbah rumah tangga, seperti yang ditunjukkan pada AS penurunan polutan organik, dan TSS. AS-CWC menunjukkan kinerja yang lebih tinggi daripada AS-CWP

No.	Sumber	Judul	Kebutuhan Data	Hasil
		<i>With Canna Lily and Cyperus Papyrus</i>		karena sifat morfologi, struktur dan ekofisiologi akarnya.
6.	(Yuje dkk., 2013)	<i>The Application of Organica Ecological Technology in Residential Sewage Treatment</i>	Data Primer: <ol style="list-style-type: none"> 1. Kondisi eksisting; 2. Kualitas air limbah; 3. Ketersediaan lahan. 	Air yang diolah oleh <i>Organica Ecotechnology</i> dapat digunakan kembali untuk lanskap dan penghijauan, yang dapat menambah estetika Kawasan hunian dan mendaur ulang air limbah.