

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

2.1.1 Air Limbah Domestik

Air limbah domestik merupakan air yang dihasilkan dari kegiatan manusia sehari-hari seperti penggunaan toilet, wastafel dan kegiatan dapur (Permen LH no 68 tahun 2016). Air limbah domestik dapat berasal dari fasilitas umum maupun tempat tinggal yang dapat berasal dari kegiatan kakus maupun non kakus (Metcalf & Eddy, 2003).

Ditinjau berdasarkan karakteristik sumber alirannya, air limbah domestik diklasifikasikan menjadi dua jenis yakni terdapat *blackwater* dan *greywater*; *blackwater* merujuk pada aliran residu yang bersumber dari sis ekskresi biologis penghuni bangunan melalui fasilitas sanitasi kloset (Destio, 2018), sedangkan untuk *greywater* adalah air limbah domestik yang bersumber dari aktivitas manusia yang berupa non kakus, kegiatan non kakus sendiri yaitu kegiatan yang dihasilkan bukan dari kegiatan aktivitas yang menghasilkan kotoran manusia (urine/feses) seperti mandi, mencuci pakaian, mencuci piring (Purwatinigrum, 2018).

2.1.2 Karakteristik Air Limbah Domestik

Secara umum sifat air limbah domestik dapat ditinjau menurut karakteristiknya yang terdiri dari karakteristik fisika, kimia dan biologis (Metcalf & Eddy, 2014).

1. Karakteristik Fisika

Karakteristik fisika pada limbah domestik merupakan karakteristik yang dapat diamati secara visual atau diukur melalui pengujian fisik, berikut merupakan parameter diantaranya:

a. Warna

Secara umum pada air limbah domestik menghasilkan warna coklat atau abu-abu yang pada akhirnya akan berakhir pada kondisi septic yaitu berakhir pada tangki septic (Metcalf & Eddy, 2014), kondisi septic

merupakan status limbah yang dimana telah kehilangan oksigen seluruhnya sehingga mulai terjadinya pembusukan yang diakibatkan oleh bakteri anaerob, sehingga pembusukan ini akan menghasilkan gas berbau tajam.

b. Bau

Pada air limbah domestik dengan kondisi septic maka akan menimbulkan bau yang kuat disebabkan oleh adanya senyawa amonia dan hidrogen sulfida. Bahwa bau yang kuat dapat mempengaruhi kenyamanan bagi masyarakat sekitar yang diklasifikasikan sebagai bentuk polusi estetika (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013).

c. Suhu

Air limbah domestik sangat berpengaruh terhadap suhu, dimana suhu yang tinggi dapat menimbulkan endapan dikarenakan kurangnya kelarutan CaCO_3 . Pada umumnya air limbah domestik memiliki suhu dengan rentang $18 - 30^\circ\text{C}$, menurut Kurniawan dkk. (2018), mengemukakan bahwa temperatur buangan cair domestik di kawasan urban terukur lebih tinggi secara signifikan apabila disandingkan dengan aliran limbah dari area pedesaan.

2. Karakteristik kimia

Karakteristik kimia berkaitan dengan ikatan antar molekul. Air Limbah domestik memiliki beberapa parameter diantaranya adalah:

a. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Secara teknis BOD dapat didefinisikan sebagai total kebutuhan oksigen yang dikonsumsi oleh agen biologi untuk proses degradasi senyawa organik pada air limbah (Putra, 2020).

b. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Parameter COD merepresentasikan total kebutuhan oksigen yang dibutuhkan guna mendegradasi seluruh bahan organik (baik yang bisa diurai bakteri maupun yang tidak) melalui reaksi kimia, pada tiap liter sampel air dengan menggunakan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebagai agen pengoksidasi nya sebagai sumber oksigen (Metcalf & Eddy, 2003).

c. Derajat keasaman (Ph)

Merupakan indikator dimana untuk menentukan asam atau basanya dalam suatu larutan. Pada air limbah domestik menghasilkan Ph dengan rentang 6,5-8,4 (Morel & Diener, 2006).

d. Minyak dan Lemak

Bahan pencemar yang dapat mempengaruhi efisiensi pengelolaan terutama pada unit biologis dikarenakan minyak dan lemak berpotensi mendegradasi efektivitas metabolisme mikroorganisme dalam memecah rantai senyawa khususnya material organik (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018), bahan pencemar ini biasanya didapatkan dari aktivitas memasak dan kegiatan sehari-hari.

e. Deterjen

Secara kimiawi deterjen dapat diklasifikasikan kedalam golongan senyawa organik sintetik yang diformulasikan maupun ditransformasikan secara khusus sebagai agen pembersih yang dapat mengganti peran sabun, deterjen dapat menyebabkan munculnya busa, deterjen termasuk dalam indikator pencemaran domestik dikarenakan mengandung nya surfaktan dan fosfat yang sulit terurai secara alami serta dapat merusak ekosistem perairan.

f. Protein

Protein merupakan indikator pencemar dikarenakan pada protein terdapat asam amino dimana asam amino merupakan bahan penyusun protein, pada asam amino memiliki sifat amfoter, dimana amfoter adalah mempunyai sifat asam dan basa, serta dapat memunculkan bau diakibatkan oleh pembusukan.

g. Karbohidrat

Karbohidrat merupakan senyawa yang terbentuk dari selulosa, pati dan gula, karbohidrat dapat meningkatkan nilai dari parameter BOD dan COD serta bila akumulasi karbohidrat dalam konsentrasi yang berlebih maka berpotensi terjadinya fermentasi sehingga akan menghasilkan aroma tidak sedap.

3. Karakteristik Biologi

Secara teknis pembentukan parameter biologis dari suatu aliran berkorelasi dengan banyaknya mikroorganisme yang terdapat pada air limbah domestik tersebut yang dapat menyebabkan penyakit, berikut merupakan termasuk dalam karakteristik biologi:

a. Bakteri Coliform

Bakteri coliform yang terdapat pada air limbah domestik secara umum berasal dari aktivitas manusia berupa kasus yang dimana berasal dari feses, bakteri ini secara umum dapat ditemukan pada tubuh manusia khususnya pada saluran pencernaan (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Menurut Sulistia & Septisya (2020), menyatakan bahwa bakteri coliform berbanding lurus dengan pencemaran air, bahwa semakin banyaknya bakteri coliform maka kualitas air limbah domestik semakin buruk. Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), dengan menggunakan contoh dari berbagai daerah di Indonesia.

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)

2.1.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Setiap efluen buangan Air limbah yang hendak disalurkan menuju badan air maupun perairan, penerima wajib melalui tahapan purifikasi terlebih dahulu untuk menjamin bahwa karakteristik akhir telah memenuhi ambang batas baku mutu lingkungan pada regulasi (Putra, 2020). Regulasi yang digunakan terkait efluen yaitu Permen LH No. 11 Tahun 2025.

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik

No	Parameter	Satuan	Kadar Tertinggi
1	Tingkat keasaman (Ph*)	mg/L	6-9
2	Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/L	12
3	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	80
4	Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	30
5	Fecal coliform	MPN/100ml	200
6	Residual Klorin**	mg/L	1

Keterangan: *) = Diukur langsung pada titik penataan.

**) = Pengolahan Air Limbah Domestik menggunakan klorinasi

Sumber: (Permen LH No. 11 Tahun 2025)

2.1.4 Bangunan Hijau (*Green Building*)

Bangunan hijau merupakan pengembangan desain yang mana memanfaatkan sumber energi terbarukan, konservasi energi serta penggunaan kembali bahan bangunan dengan mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan (Sangkertadi dkk., 2017).

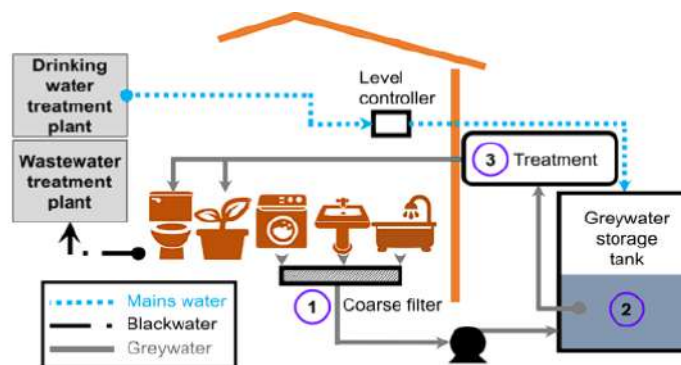
Menurut Green Building Council Indonesia (GBCI) (2012), mengungkapkan bahwa tahap awal pembangunan sampai dalam pemeliharaan bangunan yang memperlihatkan aspek dalam penggunaan sumber daya alam mulai dari penghematan energi, *reuse water* serta melindungi sumber daya alam dengan kaidah pembangunan yang berkelanjutan.

Dalam kaidah *green building* terdapat 6 kategori diantaranya yaitu (Roshaunda dkk.,2019):

1. Tepat guna lahan.
2. Efisiensi energi.
3. Konservasi air.
4. Sumber dan siklus material.
5. Kesehatan dan kenyamanan ruang.
6. Manajemen lingkungan bangunan.

2.1.5 Konservasi Air

Konservasi air merupakan tindakan dimana yang memiliki tujuan yaitu untuk menjaga sirkulasi jumlah dan kualitas air dengan tahapan yang strategis serta efisien, strategi dalam konservasi air pada suatu wilayah dapat direalisasikan melalui beberapa intervensi teknis yang meliputi pemanfaatan *reuse water* oleh air air hujan maupun oleh *greywater*, dengan melakukan diversifikasi *first-flush* untuk air hujan dan proses kimia, biologis, serta fisik untuk *greywater* agar memenuhi standar penggunaan yang sesuai dengan peraturan yang berlaku (Leong, J dkk.,2017).



Gambar 2.1 Skema Reuse Water

Sumber: (Leong, J dkk.,2017)

Teknologi pengolahan *greywater* memiliki beberapa macam teknologi diantaranya membran bioreaktor, wetland buatan, filtrasi media, serta desinfeksi UV atau klorin yang efektif menghilangkan patogen dan kontaminan organik, dan desain sistem harus disesuaikan dengan kondisi lokal dan kebutuhan pengguna untuk memastikan keamanan, efisiensi, dan keberlanjutan jangka panjang (Rodrigues, A dkk.,2023).

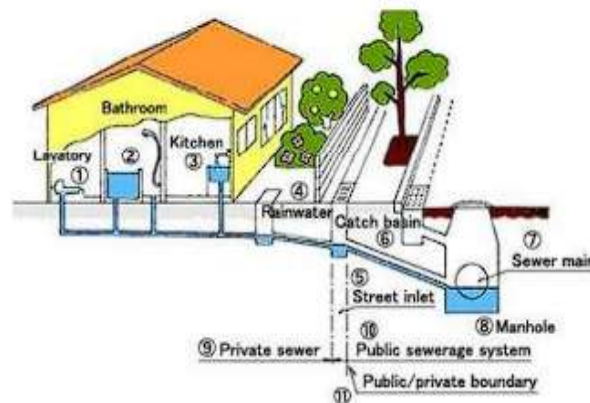
Pengelolaan konservasi air diusahakan dapat untuk dimanfaatkan sesering mungkin serta seefisien mungkin sehingga konservasi dapat secara maksimal. Kandungan oksigen dalam air menjadi indikator yang dapat digunakan untuk mengetahui kualitas air. Terdapat faktor lain yang mempengaruhi difusi oksigen seperti kekeruhan air, suhu, dan salinitas (Noriko, 2020).

2.1.6 Sistem Penyaluran Air Limbah

sistem penyaluran air limbah dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis diantaranya yaitu:

1. *Conventional sewer*

Sistem *Conventional sewer* atau bisa disebut dengan saluran konvensional, saluran konvensional merupakan saluran dimana air limbah domestik langsung dialirkan pada unit pengolahan air limbah dan setelahnya ditiarkan pada perairan maupun badan air dengan konsep penyaluran air tidak membutuhkan unit pre-treatment di sumber serta sistem ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu adanya pipa primer, sekunder dan tersier (sistem perpipaan di tingkat permukiman) (Tilley dkk., 2014).



Gambar 2.2 Sistem *Conventional sewer*

Sumber: (*EAWAG & SANDEC*, 2008)

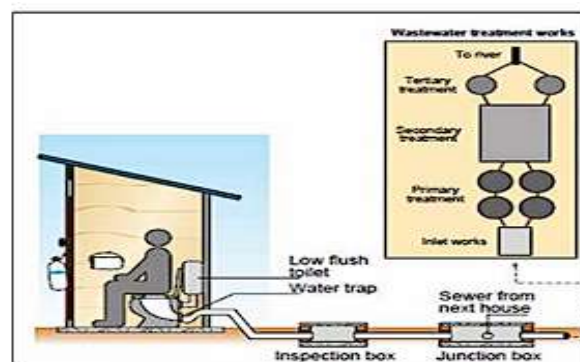
Pada sistem ini terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya adalah:

- a. Jika kedalaman pipa saluran air limbah domestik mencapai 7 meter maka perlu penggunaan pompa serta untuk menuju unit pengolahan menggunakan sistem gravitasi serta harus memperhatikan faktor self cleaning, self cleaning adalah kondisi dimana kecepatan aliran pada pipa cukup kuat untuk mencegah terjadinya pengendapan partikel.

- b. Pergerakan fluida di dalam jaringan perpipaan harus dirancang agar Arah aliran air pada dalam pipa harus bersifat searah dan menunjukkan pola aliran yang stabil
- c. Diameter pipa yang digunakan minimal 100 mm dikarenakan membawanya padatan.
- d. Ambang batas atas untuk laju aliran yang direncanakan pada angka 3 m/detik.

2. *Shallow Sewer*

Sistem *Shallow sewer* bisa disebut juga dengan sistem riol dangkal, dikatakan dengan sistem riol dangkal dikarenakan letak penanaman pipa yang jauh lebih dangkal dengan kemiringan yang lebih landai dibanding dengan sistem saluran konvensional.



Gambar 2.3 Sistem *Shallow Sewer*

Sumber: (*Department of Water Affairs and Forestry, 2002*)

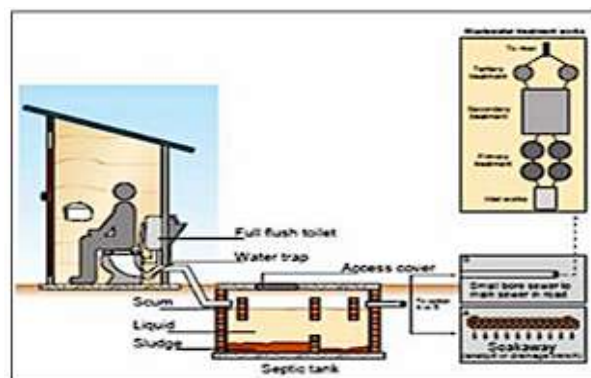
Dalam sistem ini terdapat beberapa parameter esensial yang menuntut pertimbangan secara komprehensif meliputi:

- a. Sistem ini sangat cocok untuk kawasan berpenghasilan rendah dengan kepadatan penduduk yang tinggi sebanyak >200 jiwa/ha.
- b. Diameter pipa yang digunakan minimal 150 mm
- c. Kecepatan minimum aliran yang direncanakan sebesar $>0,5$ m/detik dengan memiliki limitasi tertinggi untuk pergerakan fluida pada sistem ini ditetapkan setara dengan tiga kali lipat dari laju aliran rerata. .

- d. Konfigurasi kedalaman galian mengisyaratkan jarak minimal sejauh 0,4 meter dari muka tanah
- e. Pada jaringan ini tidak harus memiliki tangki septik serta memiliki sistem pembuangan yang cukup.

3. *Small Bore Sewer*

Sistem *small bore sewer* atau bisa disebut juga dengan *Solids-Free Sewer* dimana sistem ini hanya dapat untuk mengalirkan fase cair saja sedangkan endapan diolah pada setiap sumber limbah sebelum air masuk ke sistem perpipaan, pada setiap padatan dipisahkan di interceptor.



Gambar 2.4 Sistem *Small Bore Sewer*

Sumber: (*Department of Water Affairs and Forestry, 2002*)

Pada sistem ini terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya adalah:

- a. Saluran hanya dapat menerima effluent dari tangki septik tank lumpurnya serta air bekas cuci dan mandi.
- b. Harus adanya tangki septik.
- c. ukuran minimum untuk penampang melintang ditetapkan ada dimensi 100 mm
- d. laju aliran maksimum yang direncanakan sebesar 3 m/detik.
- e. konsep dapat diaplikasikan dengan adanya syarat berupa harus adanya tangki septik eksisting sehingga dapat meminimalisir pembongkaran lantai.

2.1.7 Bangunan Pelengkap

Fasilitas komplementer sebagai elemen utilitas tambahan yang dimana berperan untuk mempermudah dalam penyaluran air limbah dalam hal operasional maupun perawatan. Bangunan pelengkap diantaranya:

1. *Manhole*

Manhole merupakan sebuah akses yang memungkinkan individu untuk melihat kedalam saluran dan melakukan pemeriksaan serta pembersihan terhadap kotoran yang bergerak bersama air, diameter minimum *manhole* yaitu (1,2 - 1,25 m).

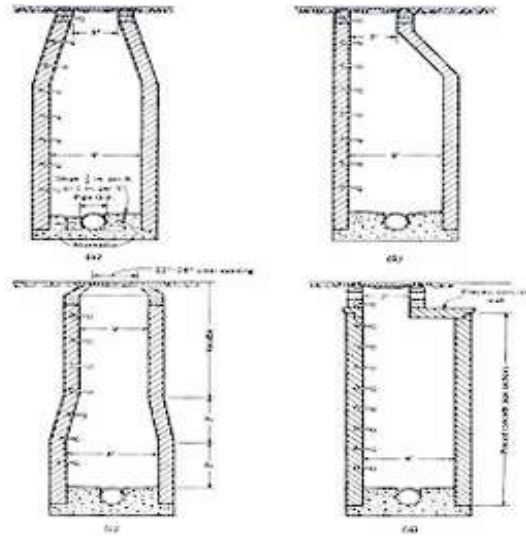
Peletakkan posisi *manhole* sebagai berikut:

- a. *Manhole* dapat diletakkan di setia arah aliran saluran yang lurus dengan perbedaan ukuran saluran yang akan direncanakan dengan adanya perbedaan ukuran pada saluran.
- b. *Manhole* dapat diletakkan pada setiap perbedaan kemiringan saluran pembuangan, perbedaan ukuran dan adanya perubahan arah aliran yang diakibatkan adanya pertemuan antar aliran baik horizontal maupun vertikal.
- c. Pada area yang merupakan titik pertemuan, persimpangan, atau saling menghubungkan.dengan pipa atau infrastruktur lainnya.

Tabel 2.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik

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)



Gambar 2.5 Bentuk *Manhole*

Sumber: (ASCE & WPCF, 1969)

2. Bangunan Penggelontor

Bangunan penggelontor memiliki fungsi yaitu menjaga saluran agar tetap bebas dan penyumbatan. Alat ini digunakan pada semua bagian pipa di lokasi dimana kemiringan tanahnya tidak cukup tajam serta dapat untuk mendukung proses *self cleaning*. Kementerian PUPR (2018), menyatakan bahwa sumber air dapat berasal dari air tanah, air hujan, air sungai.

3. Stasiun Pompa

Stasiun pompa memiliki peran sebagai pengangkat aliran yang dimana dapat diletakkan pada saluran yang memiliki kedalaman lebih dari 7 meter sehingga akan dapat terus mengalir. Fungsi dari pompa sendiri adalah untuk mengalirkan cairan dari wilayah yang lebih rendah menuju wilayah yang lebih tinggi. Umumnya menggunakan pompa submersible.

2.1.8 Unit Pengolahan Air Limbah

Menurut Metcalf & Eddy (2003), bahwa pengolahan air limbah dapat dilakukan melalui 3 proses yaitu pengolahan secara fisika, kimia dan biologi, Secara pengolahan dapat dilakukan secara terpisah maupun dapat dikombinasikan tergantung karakteristik limbah serta lahan yang dibutuhkan.

1. Pengolahan Fisika

Unit ini bertujuan untuk meremoval partikel kasar dan besar agar tidak masuk ke dalam unit pengolahan, unit yang terdapat pada pengolahan fisika memanfaatkan proses fisika secara alami, pengolahan fisika meliputi (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018):

- a. Memisahkan material atau sampah dari air limbah (Screen).
- b. Proses pemisahan yaitu dengan cara pengendapan partikel dari air dilakukan di area pengendapan pasir (grit chamber).
- c. Pengendapan partikel yang beragregasi dilakukan melalui gaya gravitasi di dalam bak pengendapan (sedimentation).
- d. Memisahkan partikel yang memiliki densitas yang rendah daripada air dengan contoh minyak dan lemak dengan menerapkan metode pengapungan yaitu sistem flotasi

2. Pengolahan Secara Kimia

Proses pengolahan yang dimana secara umum pengolahan kimia diletakkan setelah proses fisika, penerapan proses kimia dilakukan dengan memanfaatkan bantuan kimia untuk mengurai polutan yang susah removal sebagai contoh koloid, logam berat maupun partikel yang susah untuk diendapkan (Almira, 2018). Terdapat beberapa metode pengolahan secara kimia meliputi:

- a. Pengolahan secara kimia dapat menggunakan larutan kimia yang memiliki sifat asam maupun basah dalam mendukung proses pengolahan (netralisasi).
- b. Penambahan koagulan dan flokulan yang bertujuan untuk mengikat partikel sehingga dapat mengikat partikel tersebut dengan menerapkan gaya vander waals dengan bantuan pengadukan baik cepat maupun lambat sehingga partikel dapat saling menyatu (koagulasi-flokulasi).
- c. Menginjeksikan ozon maupun klorin dalam membunuh bakteri maupun patogen (desinfeksi)

3. Pengolahan Secara Biologis

Pengolahan biologis adalah pengolahan yang dimana menggunakan bantuan mikroorganisme untuk meremoval polutan pencemar organik terlarut dalam air (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Pengolahan biologis dapat diklasifikasikan berdasarkan penggunaan oksigen yaitu pengolahan secara aerob yang dimana pengolahan yang menggunakan bantuan oksigen dan pengolahan anaerob yang dimana tidak menggunakan bantuan oksigen:

a. Pengolahan aerob

Pengolahan aerob merupakan pengolahan dengan menggunakan pengolahan dengan menggunakan bakteri yang dibantu dengan bantuan oksigen. Pada pengolahan aerob terdapat 2 proses yaitu oksidasi dan fermentasi dalam pengolahan aerob terdapat beberapa jenis unit pengolahan yang sering digunakan diantaranya *activated sludge* dan *oxidation ditch*

b. Pengolahan anaerob

pengolahan dengan menggunakan mikroorganisme tanpa oksigen keuntungan dalam penggunaannya yaitu, kemudahan konstruksi, mudah dioperasikan serta hemat dalam penggunaan listrik, unit yang sering digunakan dalam pengolahan anaerob adalah biofilter anaerob dan anaerob baffle reaktor.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Debit Air Limbah Domestik

Dalam menentukan kuantitas air limbah domestik khususnya dalam perumahan maupun aktivitas kantor secara umum dapat bersumber dari konsumsi air bersih yang dikonsumsi dengan faktor 70% - 80% dari pemakaian air bersih yang digunakan, dalam menentukan debit terdapat beberapa klasifikasi yaitu debit rata-rata air limbah (Q_{ave}), debit jam puncak air limbah (Q_{peak}), debit minimum air limbah (Q_{min}). Serta dalam menentukan kebutuhan air bersih dapat

berdasarkan kuantitas jumlah penduduk maupun penghuni dalam wilayah tersebut, berikut penjabaran lebih lanjut mengenai Q_{ave} , Q_{peak} , Q_{min} :

1. Debit rata-rata air limbah (Q_{ave})

Menurut SK-SNI dari kementerian pekerjaan umum tahun 2000, untuk menentukan debit rata-rata air limbah yang dihasilkan (Q_{ave}) dapat diasumsikan besarnya melalui rata-rata penggunaan air bersih yaitu sekitar 70-80%, dengan menggunakan rumus sebagai 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 (Q_{peak})

Debit puncak air limbah merupakan debit yang dimana akan naik signifikan dikarenakan aktivitas penggunaan air yang banyak dalam rentang waktu tertentu dalam menentukan debit puncak dapat menggunakan rumus.

$$Q_{peak} = Q_{ave} \times F_{peak} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

Q_{peak} = Debit air limbah puncak (liter/detik)

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

F_{peak} = Faktor puncak

Dalam menentukan F_{peak} terdapat rumus persamaan yang digunakan.

$$F_{peak} = \frac{(18 + p^{0.5})}{(4 + p^{0.5})} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

P = Jumlah penduduk (Jiwa)

3. Debit Minimum Air Limbah (Q_{min})

Debit minimum menunjukkan bahwa sedang tidak adanya aktivitas dalam penggunaan air secara berlebihan. Debit minimum air limbah berfungsi

untuk mengukur ukuran saluran yang diperlukan serta kedalaman paling rendah yang dibutuhkan untuk menghindari pengendapan sedimen dalam saluran serta membantu dalam menentukan perlu diadakannya penggelontoran atau tidak (Qasim, 1999). Persamaan dalam menentukan Debit minimum Air Limbah (Q_{min}).

$$Q_{min} = \frac{1}{5} x p^{1/6} x Q_{ave} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

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

P = Jumlah penduduk

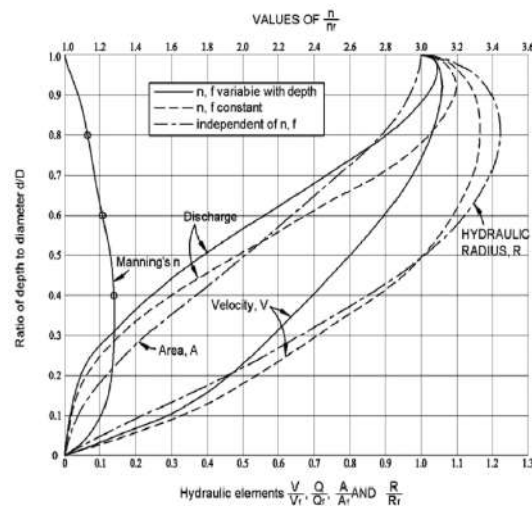
Q_{ave} = Debit air limbah rata-rata (Liter/detik)

2.2.2 Perencanaan Sistem Penyaluran

Dalam merencanakan sistem penyaluran terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. *Konstanta Manning (n)* = Pipa HDPE 0,009 - 0,015 (American Concrete Pipe Association, 2012).
2. Diameter pipa minimum = 100 mm (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2016).
3. Kecepatan minimum = 0,6 m/detik (Montes dkk. dalam Darmawan, 2018).
4. Kecepatan maksimum = 3,0 m/s saat terjadi dalam *peak condition*.
5. Tinggi renang minimum (d/D)= 20% dari diameter pipa (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018) atau nilai d/D antara 0,6 - 0,8.
6. Q_{peak}/Q_{full} (Q_p/Q_f) = diperoleh dari grafik Hydraulic Ratios for Circular Cross Section.
7. Kemiringan atau Slope (S) = minimum 1% dengan maksimal 2% (ASCE & WPCF, 1969).

Untuk menentukan Q_p/Q_f dan d/D dapat dilihat pada grafik “Hydraulic Elements for Circular Sewer”.



Gambar 2.6 *Hydraulic Elements for Circular Sewer*

Sumber: Systems dkk. dalam Destio (2018)

Persamaan *manning* pada pipa dapat dihitung dengan menggunakan beberapa persamaan dibawah (Tchobanoglous dkk, 1981):

1. *Manning*

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

Dimana:

v = kecepatan dalam pipa (m/s)

n = Koefisien manning

R = Radius hidrolis (m²/m)

S = Slope (m/m)

2. Diameter Pipa

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

Dimana:

D = Diameter pipa (m)

Q_{full} = Debit penuh (m³/s)

n = Koefisien manning

S = Slope (m/m)

2.2.3 Unit Pengolahan Air Limbah Domestik

Unit pengolahan air limbah domestik yang akan direncanakan pada penelitian ini akan dipilih beberapa unit pengolahan, unit pengolahan inti yang akan dijadikan sebagai pertimbangan dalam melakukan perencanaan pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan unit pengolahan secara anaerobik maupun serta beberapa unit lainnya antara lain:

1. Bak Penampung

Unit bak penampung berperan dalam menampung air limbah yang dihasilkan sehingga dapat berperan untuk menghindari *shock loading* dan dapat berfungsi untuk mengendalikan fluktuasi debit sehingga pada proses selanjutnya akan memberikan kondisi yang optimal (Eckenfelder, 2001), serta bak penampung dapat membawa aliran menjadi konsisten (Metcalf & Eddy, 2014).

Tabel 2.4 Kriteria Desain Bak Penampung

No	Kriteria	Syarat perencanaan	Satuan	Sumber
1	Waktu detensi (t_d)	1-4	jam	(Sumber: Tom D Reynold, Unit Operation And Processes In Environmental Engineering, Second Edition, 1995, hal 161)
2	Kecepatan aliran (v)	0,3 – 0,6	m/s	(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hlm. 316).
3	Free board	5% - 30%		(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 159. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)
4	Kedalaman (H)	<4	m	

2. ABF (*Aerobic Biofilter*)

ABF merupakan unit yang memanfaatkan media sebagai tempat tumbuhnya mikroorganisme, media yang dapat digunakan dapat berupa media alami maupun media plastik, dalam media alami dapat menggunakan batu, kerikil. Media plastik dapat berupa honeycomb, *bioball* yang dimana tujuan dari adanya

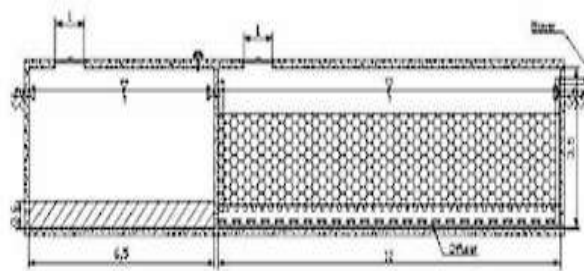
media untuk melekatnya mikroorganisme sehingga membentuk lapisan yang dimana lapisan tersebut memiliki nama lapisan biofilm (Herlambang, dkk, 2002). Pemilihan ABF dikarenakan dapat dilakukan *maintenance* dengan mudah serta tidak diperlukannya listrik pada unit tersebut.

Tabel 2.5 Kelebihan dan Kekurangan Unit ABF

Kelebihan	Kekurangan
- Membutuhkan luas lahan yang sedikit serta memiliki umur pelayanan yang panjang - Tidak menggunakan bak pengendap lumpur serta tidak ada bulking sludge	- Peralatan yang kompleks serta membutuhkan operator yang memiliki kemampuan dalam mengoperasikannya

Sumber: Barnard & Stensel (2012)

ABF beroperasi dalam metode upflow yaitu mirip dengan rapid gravitation filter yang digunakan dalam produksi air minum. Untuk biofilm yang mati maka akan dikeluarkan dari filter dengan metode backwashing yang dikembalikan ke pipa utama untuk pemisahan padatan.



Gambar 2.7 Unit ABF

Sumber: (Gutterer dkk., 2009)

Tabel 2.6 Kriteria Desain *Anaerobic Biofilter*

No	Kriteria	Syarat perencanaan	Satuan	Sumber
1	Waktu tinggal total rata-rata	6-8	jam	Chemicaro, 2015
2	Tinggi ruang lumpur	0,5	m	
3	Tinggi bed pembiakan mikroba	0,9 - 1,5	m	
4	Tinggi air diatas bed media	0,2	m	

No	Kriteria	Syarat perencanaan	Satuan	Sumber
5	Beban BOD per luasan permukaan media	5 - 30	g BOD/m ² .Hari	
6	Beban BOD Per Volume media	0,5-4	kg BOD/m ³ .media	
7	Tinggi ruang lumpur	0,5	m	

3. Nanobubble ozone

Merupakan suatu teknologi yang dapat berperan untuk meremoval patogen serta dapat meremoval BOD, COD dan TSS, dimana menurut Byoung Ho Lee dkk., (2008) menyatakan bahwa nano bubble ozone dapat meremoval COD dan BOD pada unit yang bernama DOF, dengan menggunakan teknologi nanobubble ozone. Hutagalung dkk., (2023) menyatakan bahwa teknologi nanobubble ozone dapat meremoval COD dan BOD dikarenakan terdapat beberapa cara yaitu oksidasi langsung dan Oksidasi Tidak Langsung / AOP (Indirect Oxidation)

Oksidasi tidak langsung akan terjadi kavitasi, yang dimana pada proses kavitasi akan menghasilkan senyawa yang bernama Radikal Hidroksil (HO•) yang dimana radikal hidroksil akan berperan sebagai gunting untuk memecah senyawa organik kompleks hingga menyisakan gas karbon dioksida (CO₂) yang akan menguap ke udara, dan molekul Air (H₂O) (Hutagalung dkk., 2023).

Sedangkan untuk meremoval TSS menurut Ali dkk., (2021) menyatakan bahwa dalam meremoval TSS murni hanya mengandalkan proses fisika yang dimana kontaminan besar cenderung menempel pada permukaan nanobubble untuk mengapung ke permukaan air terluar dikarenakan ketika sudah menempel pada permukaan gelembung maka massa jenis gabungan dengan gelembung udara lebih ringan dibanding air maka $P_{air} > P_{gabungan}$ Akibatnya, gaya apung (*buoyancy*) bekerja mendorong partikel tersebut.

Untuk meremoval fecal coliform merupakan tugas dari ozone dikarenakan ozone merupakan desinfektan yang sangat kuat dalam membunuh patogen

dikarenakan dapat merusak dinding sel bakteri *E. coli* hingga pecah (lisis) dan mati seketika.

Penggunaan teknologi nanobubble ozone merupakan teknologi dengan konsep side stream yang dimana konsep tersebut adalah metode pencampuran zat atau gas seperti ozon atau oksigen kedalam aliran air dengan cara memisahkan sebagai kecil aliran air utama untuk diinjeksikan gas setelah itu akan dicampurkan kembali ke pipa utama serta dengan sistem *Continuous Loop*.

Tabel 2.7 Kriteria Desain Unit Desinfeksi

No	Kriteria	Syarat perencanaan	Satuan	Sumber
1	Dosis ozon	2-5	g/m ³	RSNI Biofilter

2.2.4 Analisis Dosis Curah Hujan

Penentuan dosis curah hujan dalam konsep *reuse water* khususnya dalam penyiraman, yang dimana dalam penentuan dosis dapat dihasilkan dari curah hujan aktual, hujan aktual merupakan hasil analisis pada kuartal 4 (periode bulan oktober - november). Menurut EPA (2006), dalam land treatment of municipal wastewater menyatakan bahwa dalam menentukan luas lahan untuk penyiraman maka ditentukan berdasarkan curah hujan tertinggi yang bertujuan untuk menghindari adanya genangan

2.3 Penelitian dan Perencanaan Terdahulu

Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu

No	Sumber	Judul	Kebutuhan data	Hasil Penelitian
1	(Taufik, 2023)	Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Unit Pengembangan (UP) I Rungkut Kota Surabaya	Data Primer - Observasi lapangan; - Rencana lahan untuk IPAL - Kualitas air limbah domestik di wilayah UP I Rungkut Kota Surabaya - Kuesioner masyarakat Data Sekunder - Standar baku mutu air limbah domestik - Debit penggunaan air - Peta wilayah studi - Data kependudukan - HSPK Kota Surabaya 2018	- Didapatkan bahwa daerah terlayani terdiri dari Kelurahan Rungkut Kidul, Kelurahan Kali dan Kelurahan Medokan Ayu yang terbagi menjadi 5 blok pelayanan - Sistem penyaluran air limbah domestik yang direncanakan menggunakan sistem <i>shallow sewer</i> - Untuk pemeliharaan sistem saluran dan unit IPAL tiap rumah mengeluarkan biaya retribusi sebesar Rp. 4.000,-/bulan - RAB yang direncanakan untuk pembangunan SPAL dan IPAL dibutuhkan sebesar Rp. 87.832.528.386,-. dengan unit IPAL dibangun pada kawasan perumahan YKP, di sebidang tanah lapang kosong

No	Sumber	Judul	Kebutuhan data	Hasil Penelitian
2	(Dewi, 2020)	Perencanaan Sistem Penyaluran dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Kelurahan Rangkah, Kecamatan Tambaksari, Kota Surabaya	Data Primer - Hasil analisis air limbah domestik - Lokasi IPAL Data Sekunder - Data Penduduk - Peta jaringan jalan - Peta topografi - HSPK Kota Surabaya - Debit air limbah	- Didapatkan debit puncak IPAL Domestik sebesar 446,4m³/hari - Bangunan IPAL Domestik yang dibangun berupa <i>Anaerobic Baffle Reactor</i> dan <i>Aerobic Biofilter</i> sebanyak 8 unit - Jumlah biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan IPAL Domestik sebesar Rp. 29.297.569.000
3	(Mario, 2020)	Perencanaan Sistem Penyaluran dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kecamatan Tambaksari Kota Surabaya	Data Primer - Rencana Lokasi IPAL - Kualitas Air limbah influent Data Sekunder - Jumlah penduduk dan jumlah KK - Peta RT/RW - Baku mutu air limbah - Harga satuan di kota surabaya	- Perencanaan IPAL Domestik terbagi menjadi 2 wilayah - Unit IPAL Domestik yang dibangun terdapat 2 unit diantaranya yaitu <i>Anaerobic Biofilter</i> dan <i>Anaerobic Baffle Reactor</i> - Biaya untuk pembuatan IPAL Domestik pada kedua wilayah yaitu wilayah 1 sebanyak Rp 15,322,138,011.00 dan wilayah 2 sebanyak Rp 16,417,098,550

No	Sumber	Judul	Kebutuhan data	Hasil Penelitian
4	(Aprilia,2020)	Perencanaan Pengembangan Jaringan Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) Jalur Selatan Kota Surakarta	Data Primer - Jumlah SR Baru Data Sekunder - Jumlah SR baru - Jalur pipa lateral dan SR - Elevasi tanah - HSPK surakarta	- Sistem SPAL terpusat menggunakan sistem gravitasi dikarenakan faktor topografi - Terdapat 175 SR sehingga standar pelayanan minimal Kota Surakarta telah memenuhi dan memiliki kondisi pengelolaan sanitasi yang lebih baik dari kota-kota lain di Indonesia - Total anggaran yang dibutuhkan yaitu Rp 2.387.100.000,00
5	(Arief, 2019)	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Terpusat di Universitas Brawijaya	Data Primer - Kualitas limbah cair yang dihasilkan Data Sekunder - Debit air limbah - Data Lokasi Studi	- Dibutuhkan luas lahan sebesar 264m² dengan menggunakan sistem aerob dan anaerob - Unit yang direncanakan berupa bar screen, bak ekualisasi, bak pengendap awal, bak anaerob, bak aerob dan bak pengendap akhir - Dhabiskan RAB sebesar Rp. 1.799.103.000,00