BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Domestik

Air limbah domestik adalah air buangan yang berasal dari berbagai aktivitas manusia di rumah tangga, institusi, dan fasilitas komersial seperti hotel, rumah sakit, atau restoran. Limbah ini merupakan hasil dari penggunaan air yang mengalami perubahan komposisi karena pencampuran dengan bahan-bahan buangan, baik organik maupun anorganik. Bahan organik yang ada di dalam air limbah domestik umumnya meliputi sisa makanan, tinja, dan minyak, sementara bahan anorganik bisa berupa detergen, sabun, serta partikel-partikel kimia lain yang tersisa dari aktivitas sehari-hari (Tchobanoglous & Burton, 1991).

Secara umum, air limbah domestik mengandung mikroorganisme, terutama bakteri dan virus, yang dapat menyebabkan berbagai penyakit menular. Selain itu, kandungan nutrien seperti nitrogen dan fosfor dalam air limbah domestik bisa berkontribusi pada proses eutrofikasi di badan air, yang mengarah pada penurunan kualitas air dan peningkatan jumlah alga berbahaya. Karena potensi dampak negatifnya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, pengelolaan air limbah domestik yang baik sangat penting, terutama di daerah dengan kepadatan penduduk tinggi, seperti kawasan perkotaan.

2.1.1 Macam-macam Air Limbah Domestik

Air limbah domestik dapat dibagi menjadi dua kategori utama berdasarkan asal dan komposisinya, yaitu *blackwater* dan *greywater*. Klasifikasi ini didasarkan pada perbedaan sumber, karakteristik, serta risiko pencemaran yang ditimbulkan.

1. *Blackwater*

   Blackwater adalah air limbah yang berasal dari toilet dan mengandung campuran bahan organik, nitrogen, patogen (seperti bakteri, virus, dan parasit), serta unsur mikrobiologis lain yang berbahaya. Komponen utama *Blackwater* adalah tinja dan urine yang mengandung bahan organik terlarut dan padatan tersuspensi. Kandungan patogen dalam *blackwater* menimbulkan risiko besar

terhadap kesehatan manusia, karena dapat menyebabkan penyakit seperti diare, kolera, dan tifus jika tidak diolah dengan benar. *Blackwater* juga mengandung senyawa nitrogen dan fosfor dalam jumlah besar, yang jika dilepaskan ke perairan tanpa pengolahan, dapat menyebabkan eutrofikasi dan merusak ekosistem perairan (Mara & Cairncross, 1989).

2. *Greywater*

Greywater adalah air limbah yang berasal dari aktivitas rumah tangga seperti mencuci pakaian, mandi, mencuci piring, dan membersihkan rumah. Secara umum, *greywater* mengandung konsentrasi lebih rendah dari bahan organik dan nutrien dibandingkan *blackwater*, namun tetap dapat mencemari lingkungan jika dibuang tanpa pengolahan yang memadai. Komponen utama *greywater* adalah sisa sabun, detergen, minyak, lemak, serta partikel organik lain seperti rambut dan sisa makanan yang ikut terbawa dalam air buangan. Meskipun tidak mengandung patogen dalam jumlah yang signifikan seperti *blackwater*, *greywater* masih dapat membawa bakteri dan mikroorganisme lain yang dapat menimbulkan masalah kesehatan jika digunakan kembali tanpa proses pengolahan (Eriksson et al., 2002).

2.1.2 Sumber Air Limbah Domestik

Air limbah domestik berasal dari berbagai aktivitas rumah tangga sehari-hari yang menggunakan air. Beberapa sumber utama air limbah domestik di lingkungan perumahan adalah sebagai berikut:

1. Toilet

Salah satu sumber utama air limbah domestik adalah air buangan dari toilet, yang menghasilkan *blackwater*. Air limbah dari toilet mengandung tinja dan urine yang kaya akan bahan organik dan nutrien seperti nitrogen dan fosfor. Selain itu, air limbah ini juga mengandung mikroorganisme patogen seperti Escherichia coli, yang dapat menyebabkan berbagai penyakit jika tidak diolah dengan baik. Oleh karena itu, *blackwater* harus dikelola secara hati-hati untuk mencegah kontaminasi air tanah dan permukaan (WHO, 2006).

2. Dapur

Aktivitas memasak dan mencuci di dapur menghasilkan *greywater* yang mengandung sisa makanan, minyak, lemak, serta sisa-sisa bahan kimia dari detergen. Air limbah dari dapur sering kali mengandung lemak dan minyak dalam konsentrasi tinggi, yang dapat menyumbat pipa atau saluran jika dibuang langsung tanpa pengolahan. Selain itu, sisa-sisa bahan organik dalam *greywater* dari dapur juga dapat menimbulkan bau tidak sedap dan mengundang serangga atau hewan lain (Tchobanoglous et al., 2003).

3. Kamar mandi

Air limbah dari kamar mandi berasal dari aktivitas mandi, mencuci tangan, dan mencuci wajah. *Greywater* dari kamar mandi biasanya mengandung sisa sabun, shampoo, dan produk kebersihan pribadi lainnya. Air limbah ini umumnya memiliki konsentrasi bahan organik yang rendah, namun mengandung senyawa-senyawa kimia yang bisa berdampak buruk pada lingkungan jika tidak diolah dengan benar. Kandungan surfaktan dari sabun dan shampoo dapat mempengaruhi kualitas air jika dibuang ke badan air tanpa pengolahan.

4. *Laundry*

Air limbah dari proses mencuci pakaian di rumah juga termasuk *Greywater* dan umumnya mengandung detergen, pelembut, pemutih, serta bahan kimia lain yang dapat bersifat berbahaya jika terakumulasi di lingkungan. Air limbah laundry cenderung memiliki tingkat keasaman (pH) yang lebih tinggi karena penggunaan bahan kimia pembersih yang kuat, serta mengandung partikel tekstil atau serat-serat halus dari pakaian yang bisa meningkatkan tingkat TSS (*Total Suspended Solids*) dalam air limbah (Ottoson & Stenström, 2003).

2.1.3 Karakteristik Air Limbah Domestik Perumahan

Karakteristik air limbah domestik perumahan sangat bervariasi tergantung pada pola aktivitas rumah tangga, jumlah penghuni, jenis produk yang digunakan, serta kualitas dan kuantitas air yang dikonsumsi. Karakteristik ini dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama, yaitu fisik, kimia, dan biologis, yang masing-masing memainkan peran krusial dalam menentukan kualitas dan metode pengolahan air yang dibutuhkan.

1) Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik air limbah domestik mencerminkan sifat-sifat yang dapat diamati dan diukur secara langsung, tanpa analisis kimia. Parameter fisik ini penting untuk menentukan kondisi awal air limbah domestik dan bagaimana pengaruhnya terhadap proses pengolahan.

a. Kekeruhan

Kekeruhan merupakan ukuran tingkat kejernihan air yang disebabkan oleh partikel tersuspensi, seperti lumpur, tanah liat, dan mikroorganisme. Kekeruhan tinggi menunjukkan adanya partikel padat yang tidak larut dalam air, yang dapat menimbulkan masalah dalam proses pengolahan, terutama pada tahap filtrasi dan disinfeksi. Partikel tersuspensi dapat melindungi mikroorganisme patogen dari kontak dengan bahan disinfektan, sehingga meningkatkan risiko kontaminasi mikrobiologis (Sari & Susilo, 2021).

b. Warna

Warna pada air limbah domestik biasanya disebabkan oleh zat organik terlarut, seperti humus, fulvat, dan bahan organik dari proses pembusukan tumbuhan. Logam seperti besi dan mangan juga dapat menyebabkan warna dalam air. Warna tidak selalu menunjukkan adanya masalah kesehatan, tetapi air yang berwarna dapat mengurangi daya tarik konsumen dan menandakan kontaminasi oleh bahan organik atau logam berat. Standar internasional menetapkan bahwa air minum sebaiknya memiliki warna di bawah 15 TCU (True Color Units) untuk menjaga kualitas visual (Sari & Susilo, 2021).

c. Bau

Bau air limbah domestik sering kali dihasilkan oleh bahan organik yang membusuk atau pertumbuhan alga di sumber air permukaan. Senyawa sulfur dan senyawa organik volatil sering kali menyebabkan bau yang tidak sedap, seperti bau tanah, ikan, atau busuk. Selain itu, polutan kimia dari limbah industri dapat menyebabkan bau tajam yang mengindikasikan pencemaran serius. Bau yang kuat dalam air limbah domestik dapat mengurangi penerimaan masyarakat terhadap air yang diolah, bahkan jika air tersebut aman untuk diminum (Sari & Susilo, 2021).

d. *Total Suspended Solids* (TSS)

Materi yang tersuspensi adalah materi yang mempunyai ukuran lebih kecil dari pada molekul atau ion yang terlarut. Materi tersuspensi ini dapat digolongkan menjadi dua, yakni zat padat dan koloid. Zat padat tersuspensi dapat mengendap apabila keadaan air cukup tenang, ataupun mengapung apabila sangat ringan; materi ini pun dapat disaring. Koloid sebaliknya sulit mengendap dan tidak dapat disaring dengan (filter) air biasa. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2003).

2) Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia air limbah domestik mengacu pada komposisi unsur kimia dan senyawa yang ada di dalam air. Parameter kimia ini sangat penting untuk memahami tingkat polusi dan kontaminan yang dapat memengaruhi kesehatan manusia, keamanan lingkungan, dan efisiensi sistem pengolahan air.

a. pH

pH mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air pada skala dari 0 hingga 14, di mana angka 7 adalah netral. Air dengan pH di bawah 7 bersifat asam, sedangkan di atas 7 bersifat basa. pH air sangat penting untuk banyak proses pengolahan, karena memengaruhi reaksi kimia yang terjadi, seperti koagulasi, disinfeksi, dan stabilitas zat-zat terlarut. Air yang terlalu asam atau

basa dapat menyebabkan korosi pada pipa dan peralatan, serta memengaruhi rasa dan kelarutan logam berat. Air minum yang ideal memiliki pH antara 6,5 hingga 8,5 (WHO, 2017). Koreksi pH sering dilakukan dengan menambahkan bahan kimia seperti kapur atau asam dalam proses pengolahan air (Sari & Susilo, 2021).

b. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD adalah ukuran jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk memecah bahan organik dalam air selama periode tertentu, biasanya 5 hari (BOD5). Parameter ini digunakan untuk mengukur tingkat polusi organik dalam air. Semakin tinggi nilai BOD, semakin banyak bahan organik yang ada dalam air, yang menunjukkan polusi organik yang tinggi. BOD sering digunakan sebagai indikator kualitas air dan efektivitas proses pengolahan air limbah, terutama dalam menghilangkan bahan organik. Untuk air yang akan digunakan sebagai sumber air minum, nilai BOD yang rendah sangat diinginkan, karena nilai yang tinggi bisa menunjukkan adanya kontaminasi dari limbah domestik atau industry (Sari & Susilo, 2021).

c. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dalam air menggunakan bahan kimia, seperti kalium dikromat. Berbeda dengan BOD yang hanya mengukur bahan organik yang bisa diurai secara biologis, COD mencakup semua bahan organik dan beberapa bahan anorganik yang terlarut dalam air. Nilai COD yang tinggi menunjukkan bahwa air tersebut mengandung polutan organik atau anorganik yang sangat reaktif, yang berpotensi membahayakan kualitas air dan lingkungan. COD sering kali lebih cepat dianalisis daripada BOD dan dapat memberikan gambaran langsung tentang tingkat polusi dalam air limbah domestic (Setiawan & Rahmawati, 2022).

d. Logam Berat

Air limbah domestik sering kali mengandung sejumlah kecil logam berat seperti besi (Fe), mangan (Mn), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan kadmium (Cd). Logam berat ini bisa berasal dari sumber alami seperti erosi batuan atau dari aktivitas manusia seperti limbah industri, pertambangan, dan pertanian. Konsentrasi logam berat yang tinggi dapat menyebabkan masalah kesehatan serius, seperti keracunan logam berat, dan bisa berdampak negatif pada ekosistem. Oleh karena itu, dalam pengolahan air, logam berat perlu dihilangkan atau dikurangi hingga berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh standar Kesehatan (Setiawan & Rahmawati, 2022).

e. Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan senyawa organik yang biasanya berasal dari limbah dapur, khususnya dari kegiatan memasak dan mencuci piring. Minyak dan lemak termasuk dalam karakteristik kimia karena mereka terdiri dari senyawa organik yang tidak mudah larut dalam air dan sulit diurai secara alami. Minyak dan lemak dalam air limbah dapat membentuk lapisan di permukaan air, mengurangi oksigen terlarut, dan menghambat proses biologis dalam sistem pengolahan air limbah. Selain itu, minyak dan lemak dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran pembuangan dan mengganggu efisiensi pengolahan fisik dan biologis (Setiawan & Rahmawati, 2022).

f. Amonia

Amonia adalah senyawa nitrogen yang sering ditemukan dalam air limbah domestik, terutama dari urin (blackwater). Amonia dapat terurai menjadi nitrit (NO_2) dan nitrat (NO_3) dalam proses pengolahan air limbah. Senyawa ini berkontribusi terhadap pencemaran air karena dapat menyebabkan eutrofikasi di badan air, yang memicu pertumbuhan alga berlebih. Eutrofikasi akan mengurangi kadar oksigen terlarut di perairan, yang berdampak negatif pada kehidupan akuatik (Setiawan & Rahmawati, 2022).

3) Karakteristik Biologis

Karakteristik biologis air limbah domestik merujuk pada keberadaan mikroorganisme, seperti bakteri, virus, alga, protozoa, dan organisme lainnya yang bisa hidup di dalam air. Parameter biologis sangat penting untuk menentukan kualitas air, terutama dari segi kesehatan, karena beberapa mikroorganisme patogen dapat menyebabkan penyakit jika air tersebut digunakan untuk konsumsi manusia atau kontak langsung. Selain patogen, organisme non-patogen juga bisa memengaruhi proses pengolahan air atau menyebabkan gangguan ekosistem perairan.

a. *Total coliform*

Total coliform adalah kelompok bakteri yang termasuk di dalamnya bakteri jenis aerobik dan fakultatif anaerobik, dimana merupakan bakteri gram negatif Sebagaian besar bakteri *Total coliform* adalah heterotropic dan dapat bertambah jumlahnya di air dan tanah. *Total coliform* juga dapat bertahan dan bertambah banyak jumlahnya di sistem distribusi air, terutama jika kondisinya memungkinkan. Keberadaan *Total coliform* dapat berasal dari tinja manusia atau hewan dan dapat pula berada secara alamiah di dalam air. *Total coliform* hanyalah sebagai indikator yang digunakan untuk mengindikasikan bahwa bisa saja terdapat mikroba lain dalam air tersebut, misalnya mikroba patogen seperti Giardia, Cryptosporidium, E.coli, dan lain-lain (Fadli & Andayani, 2021).

b. *Fecal coliform*

Fecal coliform adalah subset dari *Total coliform* yang berasal khusus dari saluran pencernaan hewan berdarah panas, termasuk manusia. Jenis bakteri *Fecal coliform* yang paling terkenal adalah *Escherichia coli* (E. coli), yang merupakan indikator kuat dari kontaminasi fecal. *Fecal coliform* menunjukkan tingkat risiko yang lebih tinggi terhadap kesehatan manusia dibandingkan dengan *Total coliform*, karena keberadaan bakteri ini seringkali terkait dengan patogen yang dapat menyebabkan berbagai penyakit (Fadli & Andayani, 2021). Pengujian *Fecal coliform* dilakukan untuk menilai risiko kesehatan terkait

dengan kualitas air, terutama di sumber air untuk konsumsi manusia. Jika hasil pengujian menunjukkan adanya *Fecal coliform*, ini menandakan bahwa ada kemungkinan air tersebut terkontaminasi oleh kuman penyebab penyakit, seperti virus, protozoa, atau bakteri patogen lainnya.

2.1.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik Perumahan

Standar baku mutu air limbah domestik diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. 68 Tahun 2016 yang bertujuan melindungi kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat dengan menetapkan ambang batas yang harus dipenuhi sebelum air limbah dibuang ke badan air. Berikut ini adalah standar baku air limbah domestik yang dimaksud:

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar maksimum*
pH	–	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

(Sumber: Permen LHK No. 68 Tahun 2016)

2.2 Bangunan Pengolahan Air Limbah Domestik Perumahan

Pengolahan air limbah domestik adalah serangkaian proses yang dirancang untuk mengolah air limbah menjadi aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Proses ini melibatkan berbagai unit pengolahan, di mana masing-masing unit berperan penting dalam meningkatkan kualitas air limbah, baik dari aspek fisik, kimia, maupun biologis. Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok/tingkatan pengolahan diantaranya adalah:

a. Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

b. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)
c. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)
d. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

2.2.1 *Pre-Treatment*

Pengolahan pendahuluan merupakan tahap awal dalam proses pengolahan air limbah yang digunakan untuk menghilangkan pengotor tertentu maupun untuk menstabilkan air limbah sehingga mampu diterima pada unit pengolahan berikutnya. Unit pengolahan air limbah secara umum dalam pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*) diantaranya adalah *Inlet, Bar Screen*, dan bak penampung.

A. *Inlet* dan *Bar Screen*

Inlet dan *Bar Screen* adalah unit pertama dalam sistem pengolahan air limbah domestik. Kedua komponen ini berperan penting dalam proses awal pengolahan, terutama dalam penyaringan awal bahan-bahan kasar dan padatan besar yang terkandung dalam air limbah. Tahapan ini dikenal sebagai pretreatment dan bertujuan untuk melindungi peralatan serta meningkatkan efisiensi unit pengolahan berikutnya (Metcalf & Eddy, 2003).

Inlet merupakan bagian awal dari sistem pengolahan air limbah yang berperan penting dalam mengatur dan mendistribusikan air limbah yang masuk dari saluran pembawa ke instalasi pengolahan. *Inlet* tidak hanya berfungsi sebagai jalur masuk air limbah, tetapi juga sebagai pengatur laju aliran, sehingga memungkinkan aliran yang stabil dan seragam ke unit-unit pengolahan berikutnya. Unit ini berfungsi untuk memastikan bahwa fluktuasi debit atau tekanan air limbah tidak mengganggu proses pengolahan yang memerlukan kondisi aliran yang konstan (Metcalf & Eddy, 2003).

Dalam pengolahan air limbah domestik, *Inlet* menjadi titik awal yang sangat krusial karena merupakan penghubung antara sistem drainase eksternal dengan instalasi pengolahan. Penanganan yang tepat pada bagian *Inlet* dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan dan mencegah terjadinya gangguan operasional

pada tahap-tahap berikutnya. Selain itu, desain *Inlet* juga harus mempertimbangkan volume, kapasitas, dan kualitas air limbah yang akan diolah agar dapat berfungsi secara optimal.

Desain *Inlet* harus memperhatikan beberapa aspek, seperti kapasitas aliran, karakteristik air limbah, serta kondisi hidraulik dari sistem pengolahan. Beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam merancang *Inlet*, antara lain:

1. Kapasitas Aliran

   Inlet harus dirancang agar mampu menampung debit air limbah sesuai dengan volume air limbah yang dihasilkan oleh area perumahan atau kawasan yang dilayani. Umumnya, debit aliran air limbah domestik sangat bergantung pada jumlah penduduk dan tingkat konsumsi air bersih. Misalnya, debit air limbah untuk perumahan padat penduduk akan lebih besar dibandingkan dengan area perumahan dengan populasi rendah (Tchobanoglous et al., 2003).

2. Pengaturan Aliran

   Salah satu fungsi penting dari *Inlet* adalah menjaga kestabilan aliran air limbah. Air limbah yang masuk ke sistem pengolahan seringkali mengalami fluktuasi volume, terutama pada jam-jam puncak aktivitas rumah tangga, seperti pagi hari atau malam hari. Oleh karena itu, *Inlet* harus dilengkapi dengan mekanisme pengatur aliran agar air limbah yang masuk ke dalam sistem dapat dialirkan secara konstan dan merata, tanpa menyebabkan lonjakan debit yang dapat mengganggu unit-unit pengolahan di hilir.

3. Perlindungan Terhadap Padatan

   Pada tahap *Inlet*, air limbah domestik masih mengandung banyak benda padat yang dapat merusak atau menghambat aliran pada unit pengolahan berikutnya. Untuk itu, *Inlet* sering kali dilengkapi dengan unit penyaringan awal, seperti *Bar Screen* atau rake, yang berfungsi menyaring benda-benda besar seperti plastik, kain, atau sampah lainnya yang terbawa bersama air limbah. Proses ini disebut sebagai pretreatment, dan bertujuan untuk

melindungi peralatan di hilir dari kerusakan akibat benda-benda padat tersebut (Mara, 2004).

Terdapat beberapa jenis desain *Inlet* yang dapat digunakan tergantung pada kebutuhan dan kapasitas instalasi pengolahan air limbah, di antaranya:

1. *Inlet* Saluran Terbuka (*Open Channel Inlet*)

   Inlet jenis ini digunakan pada instalasi pengolahan dengan debit besar atau pada pengolahan air limbah skala kota. Aliran air limbah mengalir melalui saluran terbuka menuju unit pretreatment pertama, biasanya dilengkapi dengan *Bar Screen* atau alat penyaring kasar lainnya. Saluran terbuka mempermudah pemeliharaan karena akses langsung terhadap sistem aliran (Metcalf & Eddy, 2003).

2. *Inlet* dengan Pompa (*Pumped Inlet*)

   Pada sistem yang memerlukan elevasi tertentu untuk air limbah agar bisa mencapai unit-unit pengolahan, digunakan pompa untuk mengalirkan air limbah. Sistem ini umumnya digunakan pada instalasi pengolahan yang memiliki perbedaan ketinggian antara *Inlet* dan unit pengolahan berikutnya. Sistem ini harus dirancang dengan pompa yang tahan terhadap abrasi akibat kandungan padatan di dalam air limbah (Tchobanoglous et al., 2003).

3. *Inlet* Tertutup (*Pressurized Inlet*)

   Pada sistem tertutup, air limbah dialirkan melalui pipa-pipa bertekanan menuju instalasi pengolahan. Sistem ini umum digunakan di kawasan perumahan atau kawasan perkotaan yang memiliki sistem drainase tertutup. Tekanan yang diberikan pada pipa membantu memastikan bahwa air limbah sampai ke unit pengolahan dengan laju aliran yang stabil dan konstan (Mara, 2004).

Screen merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan:

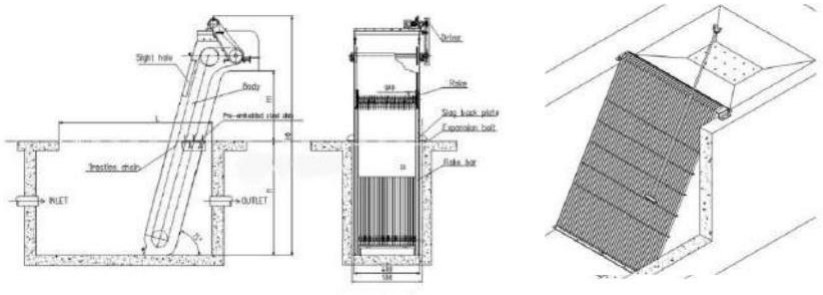
1. Kerusakan pada alat pengolahan,
2. Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
3. Kontaminasi pada aliran air.

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe *screen*, di antaranya *coarse screen*, *fine screen* dan *microscreen*. *Coarse screen* mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Sedangkan *fine screen* mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inchi). *Microscreen* pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari effluent. *Screen* biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. *Screen* pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi (Eddy, M. a. (2003).

1. *Coarse screen* (saringan kasar)

   Screen ini berbentuk seperti batangan paralel yang biasa dikenal dengan "*Bar Screen*" berfungsi untuk menyaring padatan kasar yang berukuran dari 6 – 150 mm, seperti ranting kayu, kain, dan sampah-sampah lainnya. Adanya *screen* ini agar melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh benda-benda tersebut. Cara pembersihan *barscreen* terbagi menjadi dua yaitu manual dan mekanik.Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada suatu industri yang kecil atau sedang. Prinsip yang digunakan bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0.3 – 0,6 m/dt sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20 – 40 mm dan bentuk penampang batang

tersebut empat persegi panjang. *Bar Screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 30° - 45° terhadap horisontal.



Gambar 2.1 Unit Bar Screen Mekanik dan Manual
(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007)

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Coarse Screen

No	Bagian – Bagian	Manual	Mekanik
1	Ukuran Kisi		
	a. Lebar	5 – 15 mm	5 -15 mm
	b. Dalam	25 – 38 mm	25 – 38 mm
2	Jarak Antar Kisi	25 – 50 mm	15 – 75 mm
3	*Sloop*	30° - 45°	0° - 30°
4	Kecepatan Melalui Bar	0,3 – 0,6 m/det	0,6 – 1,0 m/det
5	*Headloss*	150 mm	150 - 600 mm

(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007)

2. *Fine screen* (saringan halus)

Penyaringan halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, diantaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunanaan *Bar Screen*) dan pada pengolahan primer (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses trickling filter.

Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan *Bar Screen*) dan pada pengolahan primer (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses trickling filter.

Gambar 2.2 Fine Screen
(Sumber: Ekoton Industrial, 2019)

Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan Fine Screen

Jenis *Screen*	**Permukaan *Screen***			**Bahan *Screen***	**Penggunaan**
	Klasifikasi Ukuran	**Range Ukuran**			
		Inchi	**Mm**		
Miring (Diam)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari *stainless steel*	Pengolahan Primer
Drum (Berputar)	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat yang terbuat dari *stainless steel*	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari *stainless steel*	Pengolahan Primer
	Halus		6 x 10^{-}	*Stainless steel* dan	Menyisihkan residual

			^{3}– 35 x 10^{-3}	kain *polyester*	dari *suspended solid sekunder*
Horizontal Reciprocating	Sedang	0,06-0,17	1,6-4	Batangan *stainless steel*	Gabungan dengan saluran air hujan
Tangential	Halus	0,0475	1,2	Jala-jala yang terbuat dari *stainless steel*	Gabungan dengan saluran air hujan

(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007)

3. Micro *screen*

Micro *screen* berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat atau material yang mengapung. Prinsip yang digunakan pada segala jenis *screen* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran harus lebih dari 0.3 m/dt sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *Bar Screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60^{o} terhadap horizontal. Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi micro*screen* berkisar antara 10 - 80%, dengan rata-rata 55%. Adapun faktor bentuk *screen* antara lain :

Tabel 2.4 Faktor Bentuk Screen

Jenis Bar	**Faktor Bentuk Screen (β)**	**Bentuk**
Segi empat dengan sisi runcing	2,42	
Segi empat dengan sisi bulat runcing	1,83	
Segi empat dengan sisi bulat	1,67	
Bulat	1,79	

(Sumber: Qasim, 1985)

B. Bak Penampung

Bak penampung merupakan komponen penting dalam sistem pengolahan air limbah domestik, berfungsi sebagai wadah untuk menampung air limbah yang masuk dari saluran pembawa. Unit ini tidak hanya berfungsi sebagai tempat penampungan, tetapi juga berperan sebagai unit penyeimbang yang memastikan debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi pengolahan berada dalam kondisi yang konstan. Bak penampung dapat membantu mengurangi fluktuasi dalam aliran limbah, yang sering kali disebabkan oleh variasi dalam aktivitas domestik, seperti penggunaan air di rumah tangga (Metcalf & Eddy, 2003). Dengan cara ini, bak penampung berkontribusi pada efisiensi dan efektivitas proses pengolahan selanjutnya.

Ketika air limbah mengalir melalui saluran pembawa, ia kemudian diarahkan ke bak penampung. Proses ini bertujuan untuk mencapai kestabilan debit, sehingga fluktuasi yang mungkin terjadi dalam aliran limbah dapat diminimalisir. Hal ini penting karena perubahan mendadak dalam volume dan kualitas limbah dapat mempengaruhi performa unit pengolahan berikutnya (Tchobanoglous et al., 2003). Dengan adanya bak penampung, sistem pengolahan dapat beroperasi lebih stabil dan dapat diandalkan, sehingga dapat mengurangi risiko terjadinya masalah pada proses pengolahan yang lebih lanjut.

Gambar 2.3 Bak Penampung

(Sumber: https://tirto.id/sumber-air-baku-pdam-belitung-tercemar-limbah-tambangggQm)

Lebih lanjut, keberadaan bak penampung juga berfungsi untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah yang belum diolah. Dengan memberikan waktu detensi yang memadai, bak penampung membantu dalam pengendapan dan pemisahan partikel padat serta mengurangi beban pada unit pengolahan berikutnya, yang pada gilirannya dapat mengurangi penggunaan energi dan biaya operasional (Henze et al., 2002). Dalam perencanaan sistem pengolahan air limbah, penting untuk mempertimbangkan desain dan kapasitas bak penampung agar sesuai dengan karakteristik aliran dan volume limbah yang dihasilkan.

Kriteria Perencanaan

1. Kedalaman = ≤ 4 m
2. Waktu Detensi > 2 jam
3. Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
   (Metcalf & Eddy,2003)
4. *Freeboard* = 5 – 30%
   (Metcalf & Eddy,2003)

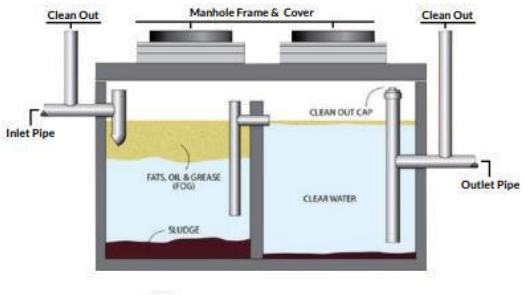
C. *Grease Trap*

Untuk mengambil zat-zat yang tercampur selain dengan cara pengendapan dapat juga dilakukan dengan cara pengapungan. Flotasi adalah unit operasi yang digunakan untuk menyisihkan minyak dan lemak dalam air limbah agar tidak mengganggu sistem pengolahan selanjutnya. Penyisihan minyak dan lemak menggunakan *Grease Trap* dilakukan di awal sistem pengolahan untuk mencegah terjadinya gangguan pada unit pengolahan selanjutnya. Pada umumnya *Grease Trap* terdiri dari dua kompartemen. Kompartemen pertama berfungsi untuk menyisihkan berbagai jenis padatan dengan berat jenis yang lebih ringan daripada air (seperti minyak dan lemak) akan mengapung di permukaan air selanjutnya kompartemen kedua berfungsi untuk memastikan bahwa minyak dan lemak tetap tertahan di dalam sistem dan tidak ikut dalam aliran air menuju proses selanjutnya.

Grease Trap juga dikenal sebagai pencegat lemak, perangkat pemulihan (recovery) minyak dan konverter limbah minyak) merupakan perangkat pipa yang

dirancang untuk mencegat sebagian besar gemuk/minyak dan zat padat lain sebelum memasuki sistem pembuangan air limbah. Limbah umumnya mengandung sejumlah kecil minyak yang masuk ke dalam septik tank dan fasilitas pengolahan untuk membentuk lapisan buih mengambang. Jenis *Grease Trap* :

1. Yang paling umum adalah *Grease Trap* pasif, yaitu titik perangkat sederhana yang digunakan di bawah kompartemen bak cuci dalam dapur. *Grease Trap* ini membatasi aliran dan menghapus 85-90% dari lemak dan minyak yang masuk. Makanan padat bersama dengan lemak, minyak, dan gemuk akan terjebak dan disimpan dalam perangkat ini.
2. Jenis yang paling umum kedua adalah tangki in-ground berukuran besar, yang biasanya 500-2000 galon. Unit-unit ini dibangun dari beton, *fiberglass,* atau 20 baja. Dengan sifat ukuran lebih besar, perangkat ini memiliki kapasitas penyimpanan lemak dan limbah padat yang lebih besar untuk aplikasi aliran limbah yang tinggi seperti pada restoran atau rumah sakit. Trap ini biasa disebut pencegat gravitasi (gravity interceptors). Pencegat / trap memerlukan waktu retensi dari 30 menit untuk memungkinkan lemak, minyak, gemuk dan limbah padat makanan untuk menetap di tangki. Semakin banyak limbah masuk ke tangki maka begitu pula air yang bebas lemak didorong keluar dari tangki.
3. Jenis ketiga yaitu sebuah sistem GRD (Grease Recovery Devices / Perangkat Pemulihan Lemak), menghapus lemak / minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.



Gambar 2.4 Grease Trap

(Sumber: https://mitraprimaenviro.com/product/grease-trap/)

Kriteria Perencanaan:

1. Kecepatan aliran (v) = 2-6 m/jam = 0,00055 m/s - 0,0016 m/s
2. Waktu tinggal (td) = 5-20 menit
3. Terdiri dari 2 kompartemen Kompartemen pertama = 2/3 dari total panjang Kompartemen kedua = 1/3 dari total panjang
4. Diameter manhole minimal = 0,6 m
5. Penyisihan minyak dan lemak = 80%
   (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

2.2.2 *Primary Treatment*

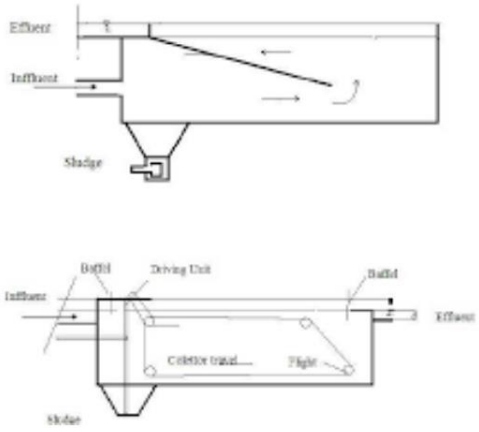
Primary treatment merupakan tahap setelah *pre-treatment* dalam proses pengolahan air limbah yang bertujuan untuk menghilangkan material padat yang tersuspensi dalam air limbah sebelum memasuki tahap pengolahan yang lebih lanjut. Pada tahap ini, partikel-partikel besar dan padatan berat diendapkan melalui proses fisik.

A. Prasedimentasi

Prasedimentasi biasa digunakan untuk menghilangkan partikel padat seperti kerikil dan pasir yang berasal dari air sungai sebelum dipompa ke unit pengolahan. Prasedimentasi merupakan salah satu unit pada bangunan pengolahan air minum yang umumnya digunakan sebagai pengolahan pendahuluan. Bentuk unit prasedimentasi yang umum digunakan adalah rectangular dan circular serta terdiri dari empat zona, yaitu zona *Inlet*, zona pengendapan, outlet, dan zona lumpur. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengendapan adalah overflow rate, vhorizontal (vh), bilangan Reynold partikel, serta karakteristik aliran (Reynolds & Richards, 1996). Bak pengendap pertama terdiri dari empat ruangan fungsional yaitu:

1. Zona *Inlet* Tempat memperhalus aliran transisi dari aliran influen ke aliran steady uniform di zona settling (aliran laminer).
2. Zona Pengendapan Tempat berlangsungnya proses pengendapan/pemisahan partikel-partikel diskrit di dalam air.

3. Zona Lumpur Tempat menampung material yang diendapkan bersama lumpur endapan.
4. Zona *Outlet* Tempat memperhalus aliran transisi dari zona settling ke aliran efluen serta mengatur debit efluen (Qasim et al., 2000).



Gambar 2.5 Bak Prasedimentasi
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Menurut Metcalf & Eddy (2007) kriteria yang perlu diperhatikan, antara lain: *detention time, overflow rate, average flow, peak hourly flow,* dan *weir loading*. Kriteria desain unit prasedimentasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.5 Desain Tipikal Prasedimentasi

Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment						
Detention time	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
Overflow rate						
Average flow	$gal/ft^2.d$	800-1200	1000	$m^3/m^2.d$	30-50	40
Peak hourly flow	$gal/ft^2.d$	2000-3000	2500	$m^3/m^2.d$	80-120	100
Weir loading	$gal/ft^2.d$	10.000-40.000	20.000	$m^3/m^2.d$	125-500	250
Primary settling with waste activated-sludge return						
Detention time	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
Overflow rate						
Average flow	$gal/ft^2.d$	600-800	700	$m^3/m^2.d$	24-32	28
Peak hourly flow	$gal/ft^2.d$	1200-1700	1500	$m^3/m^2.d$	48-70	60
Weir loading	$gal/ft^2.d$	10.000-40.000	20.000	$m^3/m^2.d$	125-500	250

(Sumber: (Metcalf & Eddy et al., 2007)(Hal 398))

Prasedimentasi biasa digunakan untuk menghilangkan partikel padat seperti kerikil dan pasir yang berasal dari air sungai sebelum dipompa ke unit pengolahan. Prasedimentasi merupakan salah satu unit pada bangunan pengolahan air minum yang umumnya digunakan sebagai pengolahan pendahuluan. Bentuk unit prasedimentasi yang umum digunakan adalah rectangular dan circular serta terdiri dari empat zona, yaitu zona *Inlet*, zona pengendapan, outlet, dan zona lumpur. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengendapan adalah overflow rate, vhorizontal (vh)

B. Oil/Water Separator

Oil/water separator merupakan teknologi yang dirancang untuk memisahkan minyak dari air dalam sistem pengolahan air limbah dan termasuk dalam tahap pengolahan primer atau primary treatment. Pengolahan primer bertujuan untuk menghilangkan material padatan dan zat mengapung yang dapat dipisahkan secara fisik sebelum limbah memasuki proses pengolahan yang lebih lanjut. Fungsi oil/water separator mirip dengan unit prasedimentasi yang bertugas menyisihkan padatan tersuspensi, tetapi dengan tambahan kemampuan untuk memisahkan lemak, minyak, dan gemuk (fats, oil, and grease/FOG). Proses ini penting dalam pengolahan limbah yang dihasilkan oleh industri perminyakan, kilang minyak, dan fasilitas yang menangani air limbah berminyak.

Prinsip kerja *oil/water separator* adalah menciptakan zona tenang atau *quiescent zone* yang memungkinkan partikel minyak mengapung ke permukaan akibat perbedaan densitas antara air dan minyak, sedangkan padatan akan mengendap di dasar tangki. Minyak yang mengapung kemudian dapat dikeluarkan melalui proses skimming, sedangkan padatan yang mengendap dikumpulkan untuk pembuangan atau pengolahan lebih lanjut.

- *Primary Sedimentation*

Primary sedimentation adalah jenis oil/water separator berbentuk rectangular. Separator ini menggunakan desain tangki memanjang dengan rasio panjang terhadap lebar tertentu untuk menciptakan kondisi aliran laminar yang

memungkinkan pemisahan minyak dan padatan. Namun, tipe ini memiliki beberapa kelemahan yang signifikan dalam hal perawatan. Komponen mekanis seperti rantai, bearing, dan skimmer berada di bawah permukaan cairan, yang membuat perawatan menjadi sulit dan rentan terhadap kegagalan mekanis, terutama jika terjadi penumpukan sludge yang kental.

Kesulitan lain yang dihadapi dalam penggunaan separator rectangular adalah kebutuhan untuk memasang penutup tangki guna mengendalikan emisi volatile organic compounds (VOC). Penutup yang panjang dan banyaknya titik akses untuk perawatan meningkatkan risiko kebocoran uap. Selain itu, jika rantai atau rake mengalami kerusakan, separator harus dihentikan operasinya dan dikosongkan untuk perbaikan, yang meningkatkan waktu henti dan biaya operasional.

- *Primary Clarifier*

Gambar 2.6 *Oil/water Separator* berbentuk *circular*
(Sumber: https://www.ewprocess.com/wp-content/uploads/Flow_Sheet-Refinery_Effluent_Treatment.pdf)

Primary clarifier adalah jenis oil/water separator berbentuk circular. Desain ini menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan dengan primary sedimentation. Komponen mekanis yang lebih sedikit, seperti rake yang dirancang untuk menangani sludge dengan konsentrasi tinggi, mengurangi kebutuhan perawatan

yang intensif. Motor dan gearbox dipasang di atas atap kubah penutup VOC, sehingga memudahkan akses dan mengurangi risiko kebocoran.

Primary clarifier memiliki kemampuan untuk mengonsentrasikan sludge hingga 5% tanpa memerlukan proses penebalan tambahan sebelum pengolahan lanjutan. Selain itu, unit ini dapat dipasang di tangki kosong yang sudah ada, memberikan solusi yang lebih hemat biaya untuk modernisasi fasilitas pengolahan limbah. Meskipun separator circular memiliki rekam jejak penggunaan yang lebih singkat dibandingkan separator rectangular, peningkatan efisiensi dan pengurangan biaya perawatan membuatnya menjadi pilihan yang menarik untuk instalasi baru maupun retrofit. Pemilihan tipe separator harus mempertimbangkan karakteristik limbah, kebutuhan perawatan, dan efisiensi pemisahan yang diinginkan.

C. Koagulasi

Koagulasi didefinisikan sebagai proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan virus dengan suatu koagulan, sehingga terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan. Koagulan atau flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi yang bertujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk men-destabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012).

Berikut ini adalah jenis-jenis koagulan yang umumnya dipakai:

Tabel 2.6 Jenis-Jenis Kogulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium sulfat	$Al_2(SO_4)_3$. X H_2O x = 14,16,18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0 – 7,8

Sodium aluminate	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	$Aln(OH)mCl_{3n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferric sulfate	$Fe_2(SO_4)_3.9H_2O$	Kristal halus	Asam	4 – 9
Ferri klorida	$FeCl_3.6H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	$FeSO_4.7H_2O$	Kristal halus	Asam	> 8,5

(Sumber: Sugiarto, 2007)

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan.

D. Flokulasi

Flokulasi adalah proses penggabungan inti flok sehingga menjadi flok yang berukuran lebih besar. Pengadukan lambat (agitasi dan stirring) digunakan dalam proses flokulasi, untuk memberi kesempatan kepada partikel flok yang sudah terkoagulasi untuk bergabung membentuk flok yang ukurannya semakin membesar. Selain itu, untuk memudahkan flokulan untuk mengikat flok-flok kecil dan mencegah pecahnya flok yang sudah terbentuk. Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik-1) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Camp) berkisar 48000 hingga 210000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar.

2.2.3 *Secondary Treatment*

Pengolahan kedua ini mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan – bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada proses ini sangat dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kotoran yang ada dan sebagainya. Pengolahan Sekunder akan memisahkan komponen organik terlarut dengan proses biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD dan COD antara 75 – 90 % serta SS sebesar 90 %

A. *Activated Sludge*

Pengolahan lumpur aktif adalah sistim pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah heterotrophic. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon adalah organik karbon. BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut sebagai substrat.

Bahan organik dalam air buangan akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, amonia dan untuk pembentukan sel baru serta hasil lain yang berupa lumpur (sludge). Bakteri juga perlu respirasi dan melakukan sintesa untuk kelangsungan hidupnya. Pada reaksi respirasi terlihat bahwa ultimate BOD untuk sel sebesar 1.42 kali konsentrasi sel.

Modifikasi proses pada lumpur aktif sistem dapt dilakukan dengan :merubah konfigurasi sistem *Inlet*.merubah konfigurasi parameter utama seperti F/M ratio, rasio resirkulasi, umur lumpur dan lain-lain. merubah dengan oksigen murni dan lain-lain. Tipe-tipe hasil modifikasi dan apa yang membedakannya, adalah sebagai berikut:

a. *Step aeration*

merupakan tipe plug flow konvensional yaitu rasio F/M menurun menuju ke outlet. *Inlet* air buangan masuk melalui 3 - 4 titik di tanki aerasi dengan maksud untuk menyetarakan F/M rasio dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya adalah mempunyai volumetric loading yang tinggi dan HRT yang lebih pendek.

b. *Tapered aeration*

Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.

c. *Contact Stabilization*

Pada sistem ini terdapat dua tanki yaitu : contact tank yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk proses lumpur aktif. Reaeration tank yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang telah diabsorb .(proses stabillisasi)

d. *Pure Oxygen*

Oksigen murni diinjeksikan ke tanki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai F/M ratio dan volumetric loading yang tinggi, serta HRT yang lebih pendek.

e. *Oxidation ditch*

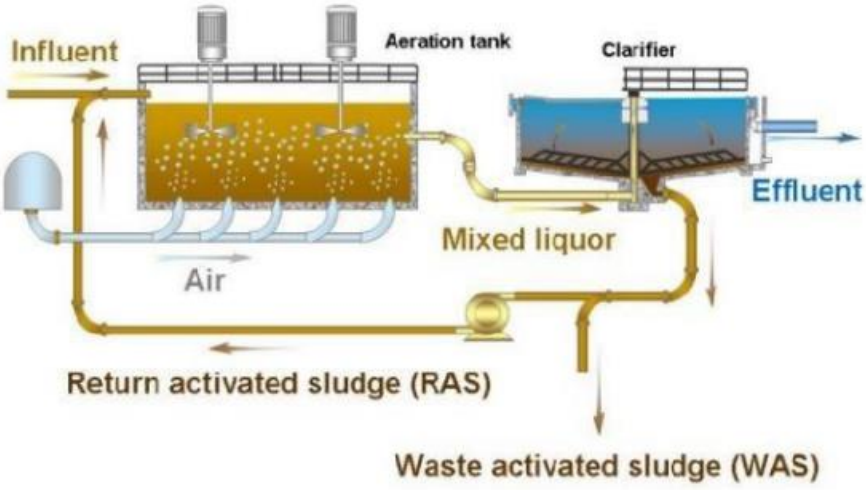
Bentuk oxidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0.25 - 0.35 m/s.

f. *Hight rate aeration*

Kondisi ini dicapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi (r), atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 – 5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar, sehingga mempunyai kinerja F/M dan Volumetric loading yang tinggi, dan HRT yang lebih pendek. Pada sistem ini mempunyai efisiensi yang lebih rendah.

g. *Extended Aeration*

Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan HRT yang lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang/dihasilkan akan lebih sedikit.



Gambar 2.7 Extended Aeration

(Sumber: https://water.mecc.edu/courses/Env149/lesson8b.htm)

2.2.4 *Tertiary Treatment*

A. Disinfeksi

Disinfeksi merupakan tahapan penting dalam pengolahan air limbah domestik perumahan, yang bertujuan untuk memastikan bahwa air limbah yang telah melalui proses pengolahan bebas dari mikroorganisme patogen. Mikroorganisme patogen, seperti bakteri, virus, dan protozoa, dapat menyebabkan berbagai penyakit jika tidak diolah dengan benar sebelum air limbah tersebut dibuang atau digunakan kembali. Oleh karena itu, proses disinfeksi berperan krusial dalam melindungi kesehatan masyarakat serta menjaga kelestarian lingkungan.

Secara umum, metode disinfeksi dalam pengolahan air limbah domestik terbagi menjadi dua, yaitu metode disinfeksi fisik dan kimiawi. Disinfeksi fisik melibatkan perlakuan terhadap mikroorganisme dengan cara-cara fisik, seperti pemanasan atau penggunaan sinar ultraviolet (UV), yang berfungsi untuk merusak struktur sel mikroorganisme sehingga menyebabkan kematian mereka. Sinar UV, misalnya, merusak DNA mikroorganisme sehingga mereka tidak dapat berkembang

biak dan pada akhirnya mati. Metode fisik ini sering dianggap ramah lingkungan karena tidak meninggalkan residu bahan kimia di dalam air yang diolah (WHO, 2017).

Sementara itu, disinfeksi kimiawi dilakukan dengan menambahkan bahan kimia disinfektan ke dalam air limbah untuk membunuh mikroorganisme patogen. Bahan kimia yang umum digunakan dalam proses ini meliputi klorin, kaporit, ozon, dan senyawa bromin. Klorin adalah salah satu bahan disinfektan yang paling banyak digunakan karena efektif, murah, dan mampu mengoksidasi bahan organik dan anorganik yang terdapat dalam air limbah. Selain itu, klorin juga dapat membunuh berbagai jenis mikroorganisme berbahaya, termasuk bakteri, virus, dan alga (Metcalf & Eddy, 2003).

Dalam pengolahan air limbah domestik, penggunaan klorin sebagai disinfektan memiliki beberapa fungsi tambahan selain membunuh mikroorganisme patogen. Klorin berfungsi untuk menghilangkan bau tidak sedap yang sering muncul pada air limbah, mengoksidasi senyawa-senyawa yang menyebabkan pencemaran, serta membantu menghilangkan logam berat seperti besi dan mangan yang umumnya terdapat dalam air limbah. Senyawa ini juga membantu mengurangi keberadaan senyawa organik yang sulit diuraikan secara alami (Said, 2009).

Efektivitas proses disinfeksi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti waktu kontak antara air limbah dengan disinfektan, konsentrasi disinfektan yang digunakan, jumlah mikroorganisme yang terdapat dalam air, serta suhu dan pH air. Semakin lama waktu kontak, semakin banyak mikroorganisme yang dapat dibunuh. Demikian pula, semakin tinggi konsentrasi disinfektan, semakin efektif proses pembunuhan mikroorganisme. Suhu dan pH air juga memainkan peran penting, karena pada suhu yang lebih tinggi dan pH tertentu, reaksi disinfektan dengan mikroorganisme berjalan lebih cepat (Park et al., 2008).

Dalam sistem pengolahan air limbah domestik perumahan, disinfeksi dengan klorin sering kali dipilih karena kemampuannya dalam mengoksidasi

senyawa organik dan anorganik secara cepat dan efektif. Penggunaan klorin dengan konsentrasi sekitar 2-3 gram per meter kubik air, tergantung pada turbiditas dan kondisi air, dianggap ideal dalam membunuh mikroorganisme serta mengurangi kadar logam berat. Klorin mampu mengoksidasi besi yang terikat dengan zat organik pada pH yang optimal sekitar 8-8,3, dan proses ini biasanya memakan waktu antara 15 hingga 30 menit. Dalam banyak kasus, disinfeksi klorin ini juga diikuti dengan koagulasi, flokulasi, pengendapan, dan filtrasi untuk memastikan pengolahan air limbah berjalan secara maksimal (Metcalf & Eddy, 2003).

Untuk menjamin bahwa air limbah domestik yang sudah diolah aman bagi lingkungan, standar disinfeksi juga harus mengikuti pedoman yang diatur oleh regulasi yang berlaku, seperti Permen LHK No. 68 Tahun 2016, yang menetapkan kadar maksimum patogen dan kandungan kimia dalam air limbah yang dibuang ke lingkungan. Implementasi disinfeksi yang baik dan tepat sesuai dengan standar ini membantu mengurangi risiko pencemaran lingkungan dan memastikan air limbah yang sudah diolah aman untuk dibuang ke perairan umum atau digunakan kembali untuk tujuan-tujuan tertentu.

2.2.5 *Sludge Treatment*

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena :

a. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel untuk menimbulkan bau.
b. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
c. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0,25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

- Mereduksi kadar lumpur
- Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

A. *Screw Press*

Mesin Dewatering Screw Press (DSP) merupakan teknologi mesin yang dirancang untuk pengentalan dan pengeringan lumpur cair lebih efisien yang berasal dari proses pengolahan air limbah kota dan industri (IPAL). Aplikasi khas untuk instalasi pengolahan air limbah termasuk pengeringan lumpur aktif limbah (WS) yang kental atau tidak kental, lumpur yang dicerna dari proses aerobik atau anaerobik, dan lumpur flotasi udara terlarut (DAF).

Sistem Screw Press terdiri dari tangki reaksi flokulasi, pencampuran polimer, sistem pencucian eksternal, dan panel kontrol. Drum dibuat dari baja tahan karat menggunakan wedge-wire screen profile khusus dengan permukaan besar untuk mendapatkan karakteristik drainase cairan yang optimal. Adapun manfaat yang dapat dihasilkan dari pengguaan mesin screw press untuk pengolahan lumpur:

a. Mesin screw press ini berkecepatan lambat dan bekerja pada tekanan yang relatif rendah sehingga biaya pengoperasian rendah karena konsumsi energi yang rendah.
b. Unit silinder yang tertutup dan kecepatan lari yang rendah dapat mengurangi kebisingan.
c. Pengoperasian dan perawatan yang mudah dengan operasi mekanis sederhana dan sistem kontrol otomatis yang dapat diprogram sesuai dengan kebutuhan pengguna dan memungkinkan untuk beroperasi selama 24 jam.
d. Biaya investasi rendah; pemerasan lumpur cocok untuk air kecil hingga menengah dan instalasi pengolahan air limbah dari lumpur biologis tanpa pengaturan pengental lumpur (Sludge Thickening).
e. Dengan bahan yang andal dan kuat, ini memastikan ketahanan korosi terhadap lumpur agresif, abrasi, dan ideal untuk mengeringkan lumpur berminyak.

2.3 Persen *Removal*

Berdasarkan hasil studi literatur yang telah kami himpun, didapatkan ringkasan persentase penyisihan untuk setiap unit pengolahan, beserta seluruh parameter air yang dapat diolah dalam sistem pengolahan air minum yang dirancang. Berikut ini adalah ringkasan persentase penyisihan parameter cemaran, lengkap dengan sumber-sumber yang terkait.

Tabel 2.7 Persen Removal

Unit	Parameter Ter-*removal*	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Grease Trap	Minyak dan lemak	80%	• Buku A Perancangan Teknis PUPR
Prasedimentasi	TSS	40% - 60%	• Frank R Spellman. 2009. Water and Wastewater Treatment Operation Plant. Hlm 686 • Qasim S.R, & Guang Zhu. 2018. Wastewater Treatment and Reuse. Hlm 6-19
	Minyak dan lemak	8 mg/L	
Activated Sludge	TSS	87% - 93%	• Buku A Perancangan Teknis IPLT, PUPR • Marcos von Sperling. 2007. Wastewater Characteristic, Treatment, and Disposal. Hlm 165
	BOD	90% - 97%	
	COD	83% - 93%	
	Amonia	> 80 %	
Disinfeksi	*Total coliform*	99%	• Frank R. Spellman, Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Second Edition Hlm 642

(Sumber: Data Perencanaan, 2024)

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (*headloss*) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi setiap unit instalasi dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan baik pada perhitungan yang telah dilakukan pada bab masing – masing bangunan sebelumnya maupun yang langsung dihitung pada bab ini. Profil Hidrolis IPAL adalah merupakan upaya penyajian secara grafis "hydrolic grade line" dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan [inffluent - effluent] dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, memastikan tidak terjadi banjir atau luapan air akibat aliran balik.

Profil hidrolis adalah faktor yang penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan/head tekan (dalam tinggi kolom air) yang tersedia bagi pengaliran. Head ini dapat disediakan oleh beda elevasi (tinggi ke rendah) sehingga air pun akan mengalir secara gravitasi. Jika tidak terdapat beda elevasi yang memadai, maka perlu diberikan head tambahan dari luar, yaitu dengan menggunakan pompa (Ryanita & Yusika, 2020).

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu:

a. Kehilangan tekanan pada pintu
b. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang, dan lain sebagainya
c. Kehilangan tekanan pada perpipaan
   Rumus yang digunakan: L x S
d. Kehilangan tekanan pada aksesoris
   Mengekivalenkan aksesoris dengan panjang pipa, disini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus
e. Kehilangan tekanan pada pompa

Hal ini dipengaruhi oleh jenis pompa, cara pemasangan, dan lain-lain

f. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Menghitung dengan bantuan monogram.

2.5 Timbulan Air Limbah Domestik Daerah Pelayanan

Timbulan air limbah domestik di suatu daerah pelayanan mencerminkan total konsumsi air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan harian penduduk dan berbagai fasilitas di wilayah tersebut. Faktor utama dalam menentukan kebutuhan ini meliputi proyeksi jumlah penduduk yang diharapkan, perkembangan fasilitas yang mempengaruhi konsumsi, serta perbedaan antara kebutuhan air domestik dan non-domestik. Estimasi yang akurat dari kebutuhan air bersih adalah kunci untuk perencanaan dan penyediaan sumber daya air yang memadai, sehingga dapat memastikan bahwa semua aspek dari kehidupan masyarakat dan kegiatan ekonomi berjalan dengan lancar (Fauziyah & Kurniawan, 2020).

2.5.1 Perhitungan Proyeksi Penduduk

Perhitungan proyeksi penduduk merupakan langkah krusial dalam perhitungan timbulan air limbah domestik di suatu daerah. Proyeksi ini membantu dalam estimasi jumlah penduduk yang akan mempengaruhi kebutuhan air di masa depan. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk melakukan perhitungan ini, masing-masing dengan pendekatan dan aplikasi yang berbeda.

A. Metode Aritmetika

Metode ini digunakan apabila data 5 tahun jumlah penduduk tersebut mengalami kenaikan atau penambahan yang relatif sama tiap tahun (Fauziyah & Kurniawan, 2020). Rumus metode ini yaitu :

$$Pn = Po + r\,(dn)$$

Keterangan:

Pn = jumlah penduduk tahun ke-n

P0 = jumlah penduduk awal

r = Rata-rata persentase tambahan penduduk tiap tahun

dn = Kurun waktu proyeksi

$$r = \frac{\Sigma Pertambahan\ Penduduk}{n-1}$$

Keterangan:

r = selisih pertambahan penduduk

n = banyak data

B. Metode Geometri

Metode ini digunakan apabila data 5 tahun jumlah penduduk tersebut mengalami peningkatan yang pesat dari waktu ke waktu (Fauziyah & Kurniawan, 2020). Rumus metode ini yaitu:

$$Pn = Po\ (l+r)\ dn$$

Keterangan:

Pn = Jumlah penduduk pada akhir tahun periode Periode

Po = Jumlah penduduk pada awal proyeksi

r = Rata-rata persentase tambahan penduduk tiap tahun

dn = Kurun waktu proyeksi

dengan:

$$r = \frac{\Sigma Pertambahan\ Penduduk}{n-1}$$

Keterangan:

r = selisih pertambahan penduduk

n = banyak data

C. Metode Least Square

Metode ini digunakan apabila data 5 tahun jumlah penduduk tersebut mengalami penurunan dari waktu ke waktu. Metode ini merupakan metode regresi untuk mendapatkan hubungan antara sumbu Y dan sumbu X dimana Y adalah jumlah penduduk dan X adalah tahunnya dengan cara menarik garis linier antara data-data tersebut dan meminimumkan jumlah pangkat dua dari masing- masing penyimpangan jarak data-data dengan garis yang dibuat (Fauziyah & Kurniawan, 2020). Rumus metode ini yaitu :

$$Pn = a + (bN)$$

Keterangan:

Pn = jumlah penduduk pada akhir tahun periode

N = selisih tahun proyeksi

a = konstanta b = koefisien arah regresi linear

dengan:

$$a = \frac{(\Sigma P)(\Sigma t^2) - (\Sigma t)(\Sigma P.\, t)}{n(\Sigma t^2) - (\Sigma t)^2}$$

$$b = \frac{(\Sigma P.\, t^2) - (\Sigma t)(\Sigma P)}{n(\Sigma t^2) - (\Sigma t)^2}$$

Keterangan:

P = Penduduk

t = Tahun

2.5.2 Perhitungan Proyeksi Fasilitas

Perhitungan proyeksi fasilitas digunakan untuk menghitung jumlah fasilitas di masa datang supaya dapat menentukan besarnya kebutuhan air pada nondomestik. Pertambahan fasilitas meningkat karena adanya peningkatan penduduk di daerah tersebut. Data yang digunakan dalam perhitungan ini biasanya terdiri dari (Fauziyah & Kurniawan, 2020):

1. Pendidikan: TK/RA, SD/MI, SMP/MTS, SMA/MA, SMK, Perguruan Tinggi
2. Peribadatan: Masjid, Musholla, Gereja, Pura, Vihara
3. Kesehatan: Puskesmas, Rumah Bersalin, Rumah Sakit, Apotek
4. Komersial: Pasar, Minimarket/Swalayan, Restoran/Rumah Makan, Warung/Kedai, Hotel/Losmen, Toko/Warung Kelontong

Rumus yang digunakan untuk menghitung proyeksi fasilitas adalah:

$$Fn = Fo \times (Pn/Po)$$

Keterangan:

Fn = Proyeksi Fasilitas

Fo = Fasilitas sekarang (tahun terakhir)

Po = Penduduk sekarang (tahun terakhir)

Pn = Penduduk hasil proyeksi

2.5.3 Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air domestik yaitu kebutuhan air yang digunakan pada tempattempat hunian pribadi untuk memenuhi keperluan sehari-hari seperti memasak, mencuci dan keperluan rumah tangga lainnya. Satuan yang dipakai adalah liter/orang/hari. Standar penyediaan air domestik ditentukan oleh jumlah konsumen domestik yang dapat diketahui dari data penduduk yang ada. Dasar dari meningkatnya kebutuhan domestik yaitu ditentukan oleh kebiasaan pola hidup masyarakat setempat (Prasetyo & Widodo, 2022). Sehingga kebutuhan air bersih pada suatu kota berhubungan pada besarnya jumlah penduduk yang akan dilayani

dengan target pelayanan yang sesuai dengan kategori kota seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.8 Kategori Konsumsi Air Domestik

Kategori Kota	Jumlah Penduduk	SR (L/org/hari)	SU (L/org/hari)	Kehilangan air
Metropolitan	>1.000.000	190	30	20%
Kota besar	500.000-1.000.000	170	30	20%
Kota Sedang	100.000-500.000	150	30	20%
Kota Kecil	20.000-100.000	130	30	20%
IKK	<20.000	100	30	20%

(Sumber: kebijakan operasional program air bersih,direktorat jenderal Cipta Karya, 1999)

Kebutuhan air bersih untuk konsumsi dibedakan menjadi 2, yaitu:

a. Sambungan Rumah (SR)

Sambungan rumah adalah kran yang disediakan dalam rumah atau bangunan. Dalam sambungan ini jumlah penduduk yang dilayani diasumsikan 80% dari jumlah penduduk total (Prasetyo & Widodo, 2022). Rumus pada sambungan ini yaitu:

Q SR (Air Bersih) = % pelayanan x Pn x Standart Kebutuhan

Keterangan:

QSR : Debit saluran rumah (Liter/detik)

% pelayanan : Persen penduduk yang terlayani

Pn : Proyeksi penduduk Standar Kebutuhan

SR : Rata-rata kebutuhan air bersih menurut kategori kota (L/Org/Hari).

b. Sambungan Umum (SU)

Sambungan umum adalah kran atau bak air yang dipakai bersama oleh sekelompok rumah atau bangunan. Dalam sambungan ini jumlah penduduk yang

dilayani diasumsikan 20% dari jumlah penduduk total (Prasetyo & Widodo, 2022). Rumah pada sambungan ini yaitu :

Q SU = % pelayanan x Pn x Standar Kebutuhan SU

Keterangan:

QSU : Debit saluran umum (Liter/detik)

% pelayanan : Persen penduduk yang terlayani

Pn : Proyeksi penduduk Standar Kebutuhan

SU : Rata-rata kebutuhan air bersih menurut kategori kota (L/Org/Hari)

Jadi untuk mendapatkan kebutuhan air domestik menggunakan rumus :

Q Domestik = Q Sambungan Rumah + Q Sambungan

Q Domestik: Debit kebutuhan air bersih domestik total (Liter/detik).

2.5.4 Kebutuhan Air Non Domestik

Kebutuhan air non-domestik adalah kebutuhan air bersih yang digunakan di luar keperluan rumah tangga. Kebutuhan air non domestik antara lain, seperti (Indra & Lestari, 2023):

a. Perkantoran
b. Tempat ibadah
c. Pendidikan
d. Kesehatan
e. Komersial
f. Umum/bisnis
g. Industri

Untuk menentukan air non-domestik perlu adanya asumsi pemakaian menggunakan rumus sebagai berikut :

Q non dom = Asumsi pemakaian x Q standar kebutuhan fasilitas x jumlah fasilitas

Keterangan:

Q non-dom: Debit non domestik (m^3/detik)

Asumsi pemakaian: Banyaknya jumlah pemakai fasilitas

Q standar kebutuhan fasilitas: Rata-rata kebutuhan air bersih standar

Jumlah fasilitas: Banyaknya fasilitas pada tahun proyeksi.

Tabel 2.9 Asumsi Konsumsi Air Non Domestik

No.	Domestik non rumah tangga	Tingkat pemakaian air	Satuan
1.	Sekolah	10	Liter/murid/hari
2.	Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
3.	Puskesmas (Tidak rawat inap)	2000	liter/hari
4.	Masjid	2000	Liter/hari
5.	Kantor	10	Liter/karyawan/hari
6.	Pasar	12.000	Liter/hektar/hari
7.	Hotel/Losmen	150	Liter/bed/hari
8.	Rumah Makan	100	Liter/kursi/hari
9.	Komplek Militer	60	Liter/orang/hari

(Sumber: SK-SNI Air limbah domestik, 2000. Buku 3 sistem pengelolaan air limbah domestik)

2.5.5 Total Kebutuhan Air Bersih

Masyarakat Indonesia biasanya melakukan aktivitas penggunaan air pada pagi hari dan sore hari sehingga pada waktu tersebut konsumsi penggunaan air akan lebih meningkat daripada waktu lainnya. Cara untuk mengetahui konsumsi

penggunaan air dalam sehari yaitu dengan pemakaian rata-rata. Dengan memasukkan besarnya faktor kehilangan air ke dalam kebutuhan dasar, maka selanjutnya dapat disebut sebagai fluktuasi kebutuhan air (Indra & Lestari, 2023). Berikut untuk rumus kebutuhan air bersih total :

Q total = Q domestik (Air Bersih) x Q non-domestik

Keterangan:

Q total = Debit Air Bersih Total (m3/hari)

Q domestik = Debit Air Bersih Domestik (Liter/detik)

Q non-domestik = Debit Air Bersih Non-Domestik (Liter/detik)

2.5.6 Debit Air Buangan

Perhitungan debit air buangan berasal dari pemakaian air bersih pada daerah pelayanan. Besar debit air buangan berkisar 60-85% yang terdiri dari campuran black water dan grey water. Besarnya debit air limbah yang dihasilkan dapat ditentukan dari beberapa hal, yaitu (Sutopo, 2019):

1. Sumber air limbah
2. Besarnya pemakaian air bersih.
3. Jenis bahan saluran, cara-cara penyambungan dan banyaknya bahan pelengkap lainnya.
4. Curah hujan, daya serap dan keadaan air tanah

Rumus yang digunakan untuk menghitung debit air buangan adalah sebagai berikut :

Q buangan = (Q Domestik + Q Non Domestik) x 70%

Keterangan :

Q buangan = Debit buangan (m^3/s)

Q dom = Debit domestik (m^3/s)

Q non dom = Debit non domestik (m^3/s)