

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Karet

Bahan jadi karet diolah dari getah karet dan getah karet diperoleh dengan cara mengorek kulit batang karet hingga getah karet dapat keluar dengan perlahan dan ditampung dalam suatu wadah. Kemudian getah karet dari kebun ini dicampur dengan bahan kimia yang berfungsi sebagai pengawet atau langsung digumpalkan dengan zat asam menjadi bahan baku untuk pembuatan bahan jadi pada suatu pabrik pengolahan karet (Sari Dewi et al., 2020).

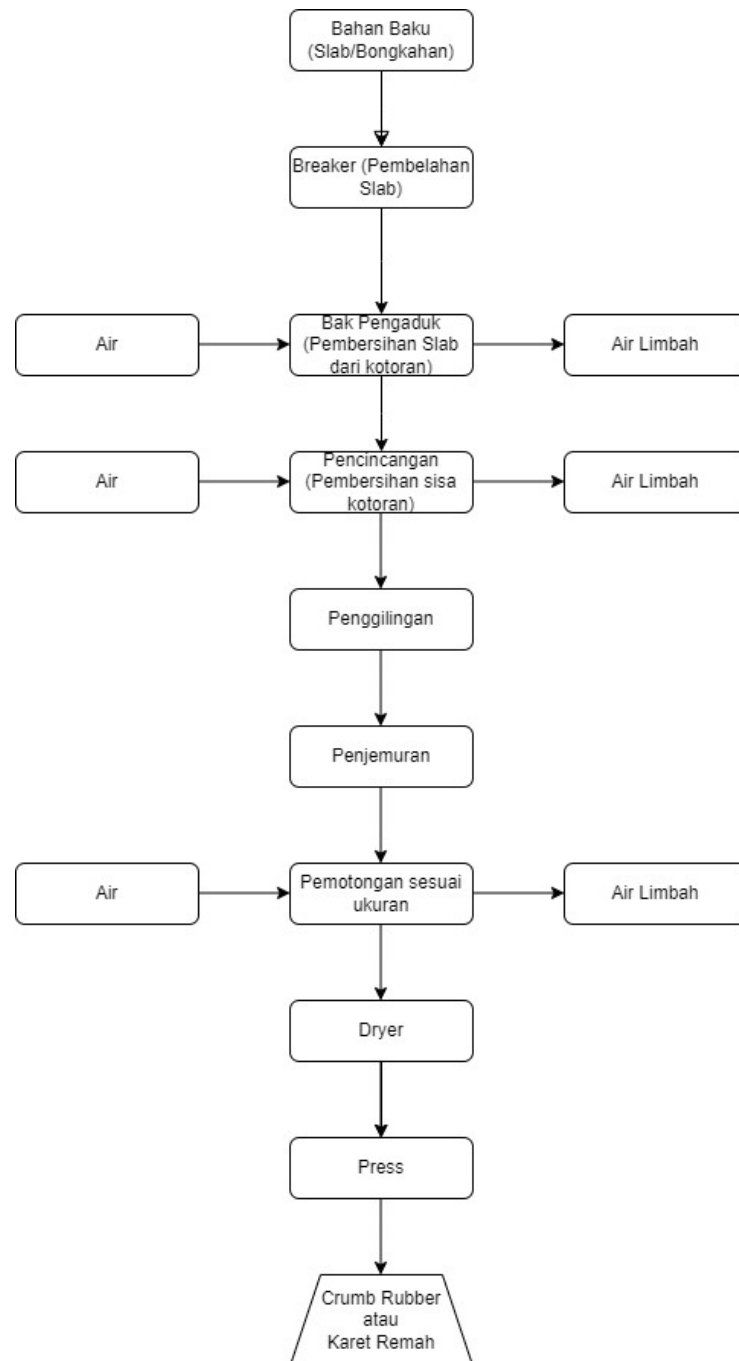
Ada dua jenis karet, yaitu karet alam dan karet sintetis. *Crumb rubber* (karet remah) merupakan salah satu jenis produksi karet alam yang digolongkan sebagai karet spesifikasi teknik (TSR=*Technical Spesified Rubber*). Karena penilaian mutunya tidak dilakukan secara visual, namun dengan menganalisis sifat-sifat fisika-kimianya. *Crumb rubber* adalah bahan baku yang 100% dibuat dari nabati alami. *Crumb rubber* ini dapat diolah menjadi aneka raga, barang yang sangat luas penggunaannya (Sari Dewi et al., 2020).

2.2 Kandungan Limbah Karet Remah

Industri karet mentah (*Crumb rubber*) mengeluarkan bau yang tidak sedap yang berasal dari senyawa organik dalam karet yang diuraikan oleh mikroba. Industri karet mentah juga mengeluarkan limbah padat yang berasal dari kotoran yang ada dalam bahan olahan karet, sedangkan sumber limbah cair dihasilkan dari proses pencucian, penggilingan dan peremahan bahan (Sari Dewi et al., 2020).

Parameter yang penting untuk mengukur kualitas air limbah industri karet adalah BOD, COD, TSS, Ammonia, Nitrogen Total dan Derajat Keasaman. Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 tentang baku mutu air limbah menetapkan baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri karet adalah BOD (Maks. 60 mg/l), COD (Maks. 200 mg/l), TSS (100 mg/l), Amonia total (Maks. 5 mg/l) dan pH (6,0-9,0). Angka-angka yang diperoleh dari berbagai penelitian dari berbagai sumber pustaka menunjukkan variasi yang cukup

besar . Hal ini terjadi akibat bervariasinya bahan baku yang diolah dan perbedaan tingkat teknologi pengolahan yang digunakan (Susilawati & Daud, 2018).



Gambar 2.1 Skema Produksi Karet Remah

(Sumber: Sari Dewi et al., 2020)

2.3 Karakteristik Limbah Cair Karet

2.3.1 *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis (*biological oxidation*) di dalam air limbah secara dekomposisi aerobik. Pengukuran BOD digunakan untuk mendapatkan besaran karbon organik yang dapat diuraikan secara biologis (Takashi Asano & Professor, 2007). Dalam hal ini, BOD diukur dengan menggunakan pendekatan periode 5 (lima) hari atau disebut juga dengan BOD5.

Menurut Perry (1998), waktu 5 (lima) hari merepresentasikan hanya sebagian dari total BOD yang diperkirakan 70% material organik dapat terurai selama durasi 5 hari oleh mikroorganisme secara alami. Pada air limbah domestik dengan temperatur 20°C, materi organik dapat terurai seluruhnya (100% BOD) pada waktu setelah 20 hari. Namun, dalam kondisi tertentu, air limbah domestik dapat mengandung senyawa nitrogen organik, ammonia, dan nitrit yang berpotensi membutuhkan oksigen untuk teroksidasi menjadi nitrat. Reaksi ini dapat terjadi pada hari ke-6. Oleh karena itu, BOD5 dinilai lebih representatif untuk menggambarkan fenomena oksidasi materi organik di dalam air limbah domestik. BOD5 juga telah menjadi metode yang disetujui dan diterapkan oleh U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA) dalam pemantauan kualitas air limbah domestik. Kandungan BOD yang ditetapkan oleh PermenLH No.5 Tahun 2014 adalah sebesar 150 mg/L. Dalam proses penguraian parameter BOD, terdapat tiga atau lebih proses yang berlangsung hingga dekomposisi BOD selesai. Proses pertama yaitu sebagian air limbah dioksidasi menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel dan pembentukan jaringan sel baru. Secara bersamaan beberapa bahan organik dari air limbah diubah menjadi jaringan 8 sel baru menggunakan energi yang dilepaskan selama oksidasi. Ketika bahan organik habis, sel-sel baru akan mengonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk metabolisme sel. Proses ketiga ini disebut respirasi endogen (Susaldi, 2023).

2.3.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan-ikan dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan hidup. Nilai COD selalu lebih tinggi dari pada BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Kandungan COD yang ditetapkan oleh PermenLH No.5 Tahun 2014 untuk effluent adalah sebesar 300 mg/L, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100 mg/L.

Hubungan antara COD dan BOD mempengaruhi proses pengolahan air limbah. Rasio BOD/COD dari air limbah optimal untuk pengolahan biologis adalah 9 berkisar dari 0,1 sampai 0,8. Rasio BOD/COD optimal yang didapatkan pada proses Aerob berada pada rasio 0,1 proses Fakultatif pada rasio 0,2 dan proses Anaerob yaitu rasio 0,2. Semua rasio sebenarnya dapat dipakai tetapi apabila dilihat dari efisiensi yang paling baik adalah proses aerob dengan rasio BOD/COD awal 0,1 sehingga dikatakan rasio yang paling optimal (Putri et al., 2012).

2.3.3 Nitrat

Nitrat (NO_3) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi amonia menjadi nitrat dilakukan oleh

bakteri nitrosomonas, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrobacter. Kedua jenis bakteri tersebut merupakan bakteri kemotrofik, yaitu bakteri yang mendapatkan energi dari proses kimiawi. Pada limbah belum yang diolah, nitrogen dijumpai dalam bentuk nitrogen organik dan komponen amonium. Nitrat (NO_3^-) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga (Pungut et al., 2021).

Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrat dan nitrit adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi ammonia menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrosomonas, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrobacter. Kedua jenis bakteri tersebut merupakan bakteri kemotrofik, yaitu bakteri yang mendapatkan energi dari proses kimiawi. Pada limbah belum yang diolah, nitrogen dijumpai dalam bentuk nitrogen organik dan komponen amonium. Nitrogen organik akan diubah oleh aktivitas mikroba menjadi ion amonium. Bila kondisi lingkungan mendukung maka mikroba nitrifikasi mampu mengoksidasi amonia. Mikroba tersebut bersifat autotropik energinya berasal dari proses oksidasi dari ion ammonium (Pungut et al., 2021).

Adanya nitrat (NO_3^-) dalam air berkaitan erat dengan siklus nitrogen dalam alam. Dalam siklus tersebut dapat diketahui bahwa nitrat dapat terjadi baik dari N_2 atmosfer maupun dari pupuk-pupuk (fertilizer) yang digunakan dan dari oksidasi NO oleh bakteri dari kelompok nitrobacter. Nitrat yang terbentuk dari proses-proses tersebut merupakan pupuk dari tanaman-tanaman. Nitrat yang kelebihan dari yang dibutuhkan oleh kehidupan tanaman terbawa oleh air yang merembes melalui tanah, sebab tanah tidak mempunyai kemampuan untuk menahannya. Ini mengakibatkan terdapatnya konsentrasi nitrat yang relatif tinggi pada air tanah. Kadar Nitrat secara alamiah biasanya agak rendah, namun kadar nitrat dapat menjadi tinggi sekali pada air tanah di daerah-daerah yang diberi pupuk yang mengandung nitrat. Kadar nitrat tidak boleh melebihi 10 mg/L.

2.3.4 Fosfat (P)

Kandungan fosfat penting untuk dianalisis dan dihilangkan pada air limbah industri dan domestik karena senyawa fosfat menimbulkan pencemaran dan fenomena berupa eutrofikasi pada badan air. Senyawa fosfor juga ditemukan sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat maupun organik fosfat. Dalam perairan, kandungan fosfat mendukung pertumbuhan mikroorganisme seperti plankton (termasuk fitoplankton dan zooplankton). Keberadaan mikroorganisme seperti plankton mempengaruhi kualitas air permukaan. Seperti contoh alga dan cyanobacteria yang memerlukan kandungan fosfat dan nitrogen untuk pertumbuhan dan perkembangan dalam perairan dan mampu menyebabkan algae bloom akibat ketidakstabilan parameter nitrat dan fosfat yang ada di dalam air (Listantia, 2020).

Kandungan fosfat pada air limbah ditemukan pada beberapa tempat. Fosfat anorganik dihasilkan oleh limbah manusia sebagai hasil proses metabolisme senyawa protein, lemak di dalam tubuh. Senyawa polifosfat ditemukan pada limbah industri deterjen maupun pencucian. Senyawa ortofosfat ditemukan pada pupuk tanaman, yang sering digunakan pada daerah pertanian. Senyawa polifosfat dapat dihidrolisis oleh bakteri menjadi senyawa ortofosfat. Jumlah kandungan polifosfat 12 dapat dihitung dengan cara total anorganik fosfat dikurangi dengan ortofosfat. Senyawa fosfat biasanya diukur bentuk ortofosfat (Listantia, 2020).

Penentuan kandungan fosfat sebagai indikator biologis terdapat aktivitas mikroorganisme pada air permukaan, dalam penelitian sebelumnya kandungan fosfat ditemukan pada sungai, danau maupun reservoir. Penentuan fosfat harus dilakukan secara rutin dalam pengolahan air limbah maupun di air permukaan, karena fosfat sebagai nutrisi makro esensial pertumbuhan biologis. Penurunan kadar fosfat dalam limbah cair dapat dilakukan secara kimia atau biologi. Teknik secara kimia dianggap kurang efektif karena meningkatkan jumlah lumpur yang dihasilkan dan membutuhkan biaya tambahan serta dikhawatirkan menyebabkan kontaminasi logam berat dalam sistem pembuangan limbah cair dan meningkatkan konsentrasi garam dalam effluent. Alternatif lain adalah dengan cara biologi, yaitu dengan memanfaatkan aktivitas mikroba yang mampu menurunkan kadar fosfat. Penurunan kadar fosfat dapat dilakukan melalui mekanisme pengolahan biologis

yang melibatkan organisme pengakumulasi polifosfat (*polyphosphate accumulating organisms*/PAO). PAO akan mengkonsumsi fosfor untuk pembentukan komponen selulernya dan mengakumulasi sejumlah besar polifosfat dalam selnya (Setyaningrum et al., 2019).

2.3.5 Warna

Warna perairan dapat ditimbulkan karena adanya bahan-bahan organik (keberadaan plankton atau humus) maupun anorganik (seperti ion-ion logam besi, dan mangan). Adanya kandungan bahan-bahan anorganik seperti oksida pada besi menyebabkan air bewarna kemerahan, sedangkan oksida pada mangan menyebabkan air menjadi berwarna kecoklatan/kehitaman. Kalsium karbonat yang berasal dari daerah berkapur juga dapat menimbulkan warna kehijauan pada air. Bahan-bahan organik, misalnya tanin, lignin, dan asam humus yang berasal dari proses dekomposisi (pelapukan) tumbuhan yang telah mati menimbulkan warna kecoklatan pada air (Effendi, 2003).

Sementara itu, warna air pada umumnya disebabkan oleh partikel koloid bermuatan negatif, sehingga pemurnian warna pada air dilakukan dengan cara menambahkan bahan koagulan yang bermuatan positif seperti aluminium dan besi (Gabriel, 2001). Warna perairan juga dapat disebabkan oleh peledakan (blooming) Fitoplankton (algae) 11 (Effendi, 2003). Oleh karena itu, warna air dapat mengindikasikan adanya zat-zat terlarut dalam air yang sangat berpengaruh terhadap kualitas air. Warna air dapat diamati secara visual (langsung) ataupun diukur dengan menggunakan skala platinum kobalt (dinyatakan dengan satuan (PtCo)), dengan membandingkan warna air sampel dan warna standar (Effendi, 2003). Nilai satu skala PtCo sebanding dengan satuan skala TCU (True Color Unit) atau dapat dikatakan bahwa nilai 1 TCU = 1 mg/L platinum kobalt.

2.3.6 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sukar mengendap, melayang-layang, dan tidak larut di dalam air. Padatan TSS memiliki sifat sukar mengendap akibat muatan elektrostatis dan gerak brown sehingga stabil di dalam air. Padatan tersuspensi sangat berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air.

Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air (Fernanda, A. F., 2019). Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh. Kandungan TSS yang ditetapkan oleh PermenLH No.5 Tahun 2014 untuk effluent adalah sebesar 100 mg/L.

Padatan tersuspensi yang terdapat pada parameter TSS merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal mineral-mineral misalnya pasir yang sangat halus, silt, lempung, atau berasal dari zat organik asam sulfat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Di samping itu, padatan tersuspensi ini dapat berasal dari mikroorganisme misalnya plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. Semua elemen-elemen tersebut umumnya menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Azwandari, A., 2018).

2.4 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri karet remah ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, Nitrat, Fosfat, Warna, dan TSS. 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. d. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

2.4.1 Pengolahan Pendahuluan (*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 *intake & screening/shredding*, *grit removal*, *flow equalization*, pra- sedimentasi, dan *quality equalization*.

a. Saluran Pembawa

Saluran Pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah (Hermana et al., n.d.). Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (slope) (Nasoetion et al., 2017).

Saluran pembawa dibagi 2, yaitu saluran terbuka (open channel flow) dan saluran tertutup (pipe flow). Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Saluran tertutup (pipe flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi seperti halnya saluran terbuka. Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

- Kecepatan aliran (v) = 0,3-2,4m/s
- Kemiringan (slope) maksimal = 1,10-3m/m
- Freeboard saluran = 5-30%
- Dimensi saluran direncanakan (Ws) = $B = 2H$

- Kekasaran saluran (n) = 0,011-0,020 (saluran terbuka bahan beton)
(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Table 4.2 Harga Koefisien Manning)

Tabel 2.1 Koefisien n Manning Untuk Saluran Pembawa

Bahan Batas	n Manning
Kayu yang diketam (diserut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,025
Tanah	0,025
Tanah dengan batu/rerumputan	0,035
Kerikil	0,029

(Sumber: Spellman, F. R. (2013). Water & wastewater infrastructure: Energy efficiency and sustainability. Halaman 285)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{s)}}{V \text{ (m/s)}}$$

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = debit limbah (m^3/detik)

v = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/detik)

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 5)

- Kedalaman Saluran (H)

$$H = \frac{A (m^2)}{B (m)}$$

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Ketinggian Total

$$H \text{ Total} = H + (20\% \times H)$$

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m), freeboard = 20% dari ketinggian total.

- Cek Kecepatan (Rumus Manning)

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Keterangan:

n = Koefisien manning

R = Jari-jari hidraulik

S = Slope (Kemiringan dasar saluran)

- Cek waktu tinggal maksimum saluran pembawa (Td)

$$T_d = \frac{Q \text{ Total Saluran}}{Q}$$

Keterangan:

Q = debit

Td = waktu detensi

- Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{B \times H}{B + (2 \times H)}$$

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = lebar saluran pembawa (m)

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, *Open Channel Hydraulics*,
Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 19)

- *Slope Saluran (Rumus Manning)*

$$S = \left(\frac{Q \times n}{1,49 \times A \times R^{2/3}} \right)^2$$

Keterangan :

S = slope/kemiringan saluran (m)

Q = debit air limbah

n = koefisien manning saluran (m/m) R = jari – jari hidrolis (m)

A = luas permukaan saluran

- *Headloss Saluran Pembawa*

Hf = Slope x L Saluran

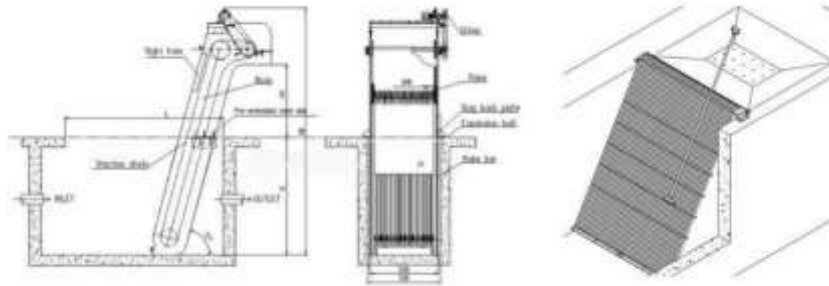
Keter Hf = headloss saluran (m)

L = panjang saluran (m)angan :

b. Screening

Screening atau biasa disebut dengan bar screen digunakan dalam pengolahan air bersih maupun air limbah untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran >0,5-1,0cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy et al., 2007). Padatan yang disaring kemudian dibuang ke wadah yang terletak di belakang screen untuk disimpan, dikeringkan, dan diakumulasi/dipadatkan sebelum akhirnya dibuang. Peran utama screening adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu: (1) merusak peralatan unit pengolahan berikutnya; (2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan (3) mencemari saluran air. Adapun jenis dari bar screen adalah fine screen (saringan halus) dan coarse screen (saringan kasar). Sedangkan

menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis bar screen yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1996).



Gambar 2.2 Unit Bar Screen Mekanik dan Manual

(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007)

Umumnya unit bar screen dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (inlet) dengan kemiringan $30^{\circ} - 45^{\circ}$ dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007). Tebal batang biasanya 5-15mm dengan jarak antar batang 25 hingga 50mm yang diatur sedemikian rupa sehingga lolos untuk parameter/limbah yang diinginkan. Bar screen dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (Qasim & Zhu, 2017).

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain screen dengan pembersihan secara manual maupun mekanis baik coarse screen maupun fine screen adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	<i>U.S. Customary Units</i>		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran batang				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	25 – 38
Jarak antar batang	1,0 – 2,0	0,6 – 0,3	25 – 50	15 – 75

Parameter Lain				
Kemiringan thd vertikal (derajat°)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30
Kecepatan	1,0-2,0 ft/s	2,0-3,25ft/s	0,3-0,6m/s	0,6-1,0m/s
Headloss (max)	6 in	5-24in	150mm	150-600mm

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 315-316)

Tabel 2.3 Persen Removal Saringan Halus

Jenis screen	Luas permukaan		Persen removal	
	In	Mm	BOD (%)	TSS(%)
<i>Fixed parabolic</i>	0,0625	1,6	5 – 20	5 – 30
<i>Rotary drum</i>	0,01	0,25	25 – 50	25 – 45

Tabel 2.4 Klasifikasi *Fine Screen*

Jenis <i>Screen</i>	Permukaan <i>Screen</i>			Bahan <i>Screen</i>	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		In	Mm		
Miring (Diam)	Sedang	0,01 - 0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuatdari <i>stainless-steel</i>	Pengolahan Primer
Drum (berputar)	Kasar	0,1 - 0,2	2,5 – 5	Ayakan kawat yang terbuatdari <i>stainless-steel</i> .	Pengolahan Pendahulua n
	<i>Sedang</i>	<i>0,01 - 0,1</i>	<i>0,25-2,5</i>	Ayakan kawat yang terbuatdari <i>stainless-steel</i> .	<i>Pengolahan Primer</i>

	<i>Halus</i>		<i>6 -35μm</i>	Stainless-steel dan kainpolyester	<i>Meremoval residual dari suspended solid sekunder</i>
<i>Horizontal Reciprocating</i>	<i>Sedang</i>	<i>0,06-0,17</i>	<i>1,6-4</i>	Batangan Stainless-steel	<i>Gabungan dengan saluran air hujan</i>
<i>Tangensial</i>	<i>Halus</i>	<i>0,0475</i>	<i>1200μm</i>	Jala-jala yang terbuat dari stainless steel.	<i>Gabungan dengan saluran pembawa</i>

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition,

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung screen pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

- Tinggi bar screen

Tinggi bar screen = HSaluran + (fb x HSaluran)

Keterangan:

H = tinggi

Fb = freeboard

- Jumlah Batang Kisi (n)

$ws = (n+1) \times r + (n \times d)$

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan screen (w_c)

$$w_c = w_s - (n \times d)$$

Keterangan:

w_c = lebar bukaan screen n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi (γ)

$$\gamma = h + \text{freeboard}$$

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (P)

$$P = \frac{\gamma}{\sin}$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = tinggi kisi (m)

- Kecepatan melalui Kisi (V_i)

$$V_i = \frac{Q}{w_c \times h}$$

Keterangan

Q = debit inlet air limbah

w_c = lebar bukaan screen

h = tinggi muka air

- *Headloss pada Bar Screen saat non-clogging*

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

C merupakan koefisien pada saat non-clogging yaitu 0,7

- *Headloss pada Bar Screen saat clogging*

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

C merupakan koefisien pada saat non-*clogging* yaitu 0,6

c. Bak Penampung

Bak penampung merupakan bangunan yang berfungsi untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak penampung maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (inlet) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).

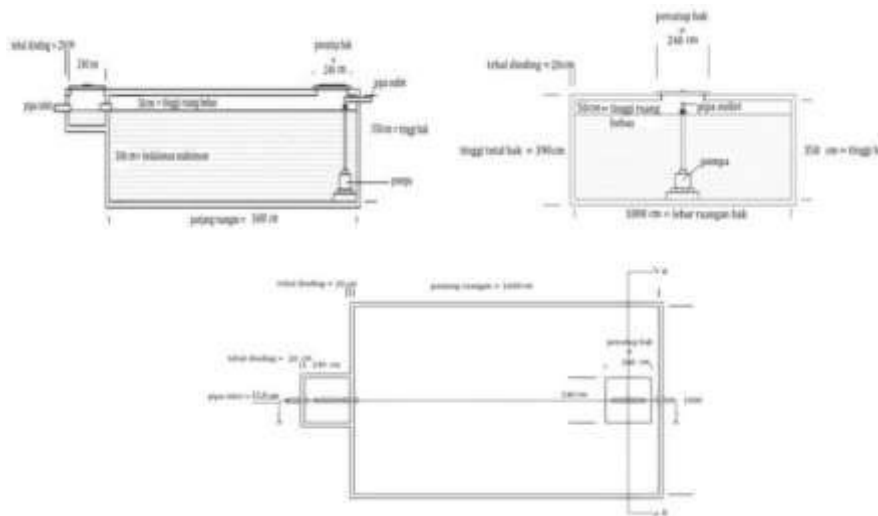
Manfaat utama dari aplikasi bak penampung antara lain:

- i. pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena shock loading rate mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan;
- ii. kualitas efluen dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan;
- iii. kebutuhan luas permukaan dalam unit filtrasi dapat dikurangi, kinerja filter ditingkatkan, dan siklus backwash pada filter yang lebih seragam dimungkinkan dilakukan dengan muatan hidrolik yang lebih rendah (efisiensi penggunaan);
- iv. dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya.

Namun unit bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya adalah:

- i. memerlukan area/lokasi yang cukup luas;
- ii. mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal;
- iii. memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat

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



Gambar 2. 3 Unit Bak Penampung dan Gambar Potongan Bak Penampung

(Sumber: Effendi, 2003)

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung, antara lain (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

- i. Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- ii. Mixer/aerator, komponen ini berfungsi untuk menyeragamkan air limbah domestik, khususnya terkait dengan kualitas dan parameter seperti pH, endapan diskrit, dan parameter lain yang tidak sesuai untuk unit pengolahan selanjutnya, penggunaan mixer/aerator dapat menjadi opsi dalam perencanaan unit bak penampung dalam pengolahan air.

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit bak penampung antara lain sebagai berikut (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

Tabel 2.5 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimal	$h_{\min}$	1,5-2	m	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
2	Ambang batas (<i>free board</i>)	h_{fb}	5-30	%	
3	Laju pemompaan udara (aerasi)	Qudara	0,01-0,015	m^3/m^3 -menit	
4	Kemiringan dasar tangki	Slope	40-100	mm/m diameter	(Qasim & Zhu, 2017)
5	Waktu Tinggal	Td	1-2	jam	(Metcalf & Eddy et al., 2007)

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018, Halaman 32)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak penampung antara lain:

- Waktu Tinggal (Td)

$$T_d = V \times Q$$

Keterangan:

V = volume bak pengumpul (m^3)

Q = debit air limbah yang dipompa (m^3 /detik)

- Kecepatan Aliran (V)

$$V = A \times H$$

Keterangan:

A = luas permukaan bak pengumpul (m^2)

H = kedalaman air (m)

- Dimensi Bak Penampung

$$V = P \times L \times H$$

Keterangan:

V = volume bak (m^3)

P = panjang bak (m), dengan 2 x L L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak pengumpul (m)

- Kedalaman Total (HTotal)

$$HTotal = H + (fb \times H)$$

Keterangan:

Fb = freeboard

- Jari-Jari Hidrolis

$$R = \frac{W \times H}{W \times 2H}$$

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

- Pipa Inlet Pompa

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$V = Q/A$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

d = diameter pipa

V = volume bak

- Pipa Outlet Pompa

- i. Luas Penampang pipa pompa

$$A = \frac{1}{4} \pi \times D^2$$

Keterangan:

A = luas bak

d = diameter pipa

- ii. Kecepatan aliran dalam pipa pompa outlet

$$V = Q/A$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

- Headloss

- Headloss Mayor (Hf Mayor)

$$H_f \text{ Mayor} = \frac{10,7 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,82}} \times L$$

- Headloss Minor (Hf Minor)

$$H_f \text{ Minor} = k_1 \times \frac{v^2}{2g} + (n \times k_2 \times \frac{v^2}{2g})$$

- Headloss Total = $H_a + H_f \text{ Mayor} + H_f \text{ Minor}$

Adapun untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurangi adanya shock loading rate. Adapun karakteristik pompa yang digunakan diantaranya:

Tabel 2.6 Karakteristik Pompa Bangunan Pengolahan Air

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	• Air limbah sebelum diolah • Penggunaan lumpur kedua • Pembuangan effluent
	Peripheral	Limbah logam, pasir, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan air buangan
	Screw	• Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua • Air limbah pertama • Lumpur Kasar

<i>Posite Displacement</i>	Diafragma Penghisap	• Permasalahan zat kimia limbah logam • Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	Air Lift	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua
	Pneumatic Ejector	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

(Sumber: Qasim, Syed R. Zhu Guang, Wastewater Treatment Objective, Design Consideration, and Treatment Processes, Halaman 6-43)

2.4.2 Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Primary treatment dalam pengolahan air buangan adalah tahap pertama dalam sistem pengolahan limbah cair, dimana beberapa proses fisika dan kimia dikerjakan. Tujuan dari primary treatment adalah untuk memisahkan zat padat, baik organik maupun anorganik, serta minyak dan lemak dari zat cair dengan menggunakan proses fisika dan kimia. Hasilnya, air tampak jernih, memiliki pH netral, dan tidak mengandung logam berat. Limbah pengolahan air yang dievaluasi dalam pengolahan primer air limbah domestik efektif dalam peningkatan klarifikasi dibandingkan dengan sedimentasi alami. Peningkatan klarifikasi yang dicapai dengan penambahan lumpur mentah Wastewater Treatment dan lumpur reaktif disebabkan oleh kontribusi aluminium dan besi dalam kedua lumpur, yang bertindak sebagai koagulan yang mendukung penggumpalan partikel dan penghapusan selanjutnya oleh sedimentasi. (Rachmawati, R., 2020).

2.4.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Air limbah umumnya mengandung polutan organik yang berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Penguraian senyawa organik pada air limbah sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme sehingga disebut dengan proses biologis. Tujuan dari pengolahan biologis pada air limbah adalah sebagai berikut:

- i. mengubah (mengoksidasi) konstituen biodegradable terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima;
- ii. menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan nonsetttable menjadi flok biologis atau biofilm;
- iii. mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis yaitu karbon (C), hydrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan fosfor (P)
- iv. menghilangkan konstituen dan senyawa kecil organik tertentu

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

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD antara 60-90% serta 40- 90% TSS (Qasim & Zhu, 2017). Penghilangan partikulat dan BOD karbon terlarut dan stabilisasi materi organik yang ditemukan dalam air limbah dilakukan secara biologis dengan menggunakan berbagai macam mikroorganisme, terutama bakteri. Mikroorganisme digunakan untuk mengoksidasi atau mengubah materi organik terlarut dan partikel karbon menjadi produk akhir yang sederhana dan biomassa sebagai produk sampingan.

Biomassa memiliki berat jenis yang sedikit lebih besar dari air sehingga biomassa dapat dihilangkan dari air limbah yang diolah dengan pengendapan gravitasi. Penting untuk dicatat bahwa kecuali biomassa yang dihasilkan dari bahan *organic* akan dihapus secara periodik, pengolahan lengkap belum dicapai karena biomassa, yang merupakan organik, akan diukur sebagai BOD dalam efluen. Biomassa akan dihilangkan pada system sedimentasi sekunder yaitu sedimentasi setelah pengolahan biologis terjadi.

Adapun kriteria yang harus diperhatikan dalam memilih unit pengolahan sekunder dengan tepat, diantaranya adalah:

- i. Efisiensi pengolahan, ditujukan agar unit yang dirancang mampu mengolah air limbah hingga memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.
- ii. Aspek teknis, dari segi konstruksi menyangkut teknis pelaksanaan seperti ketersediaan tenaga ahli, kemudahan mendapatkan material konstruksi, instalasi bangunan, dan ruang yang digunakan. Segi operasi dan pemeliharaan menyangkut kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan instalasi air limbah.
- iii. Aspek ekonomis, menyangkut masalah pembiayaan (finansial) dalam hal konstruksi operasi, dan pemeliharaan IPAL.
- iv. Aspek lingkungan, menyangkut kemungkinan terjadinya gangguan yang dirasakan oleh penduduk akibat ketidakseimbangan factor biologis dan dampak lain seperti bau dan pencemaran udara.

Adapun beberapa contoh unit pengolahan sekunder dengan penjelasan sebagai berikut:

a. Biofilter Anaerobik-Biofilter Aerobik

Biofilter anaerobic-aerobik adalah proses pengolahan air limbah yang menggunakan media penyangga dalam reactor biologis dan bantuan aerasi (Marsidi & Herlambang, 2002). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO₂, air, dan ammonia. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan keadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik, sedangkan pada biofilter anaerobic, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).

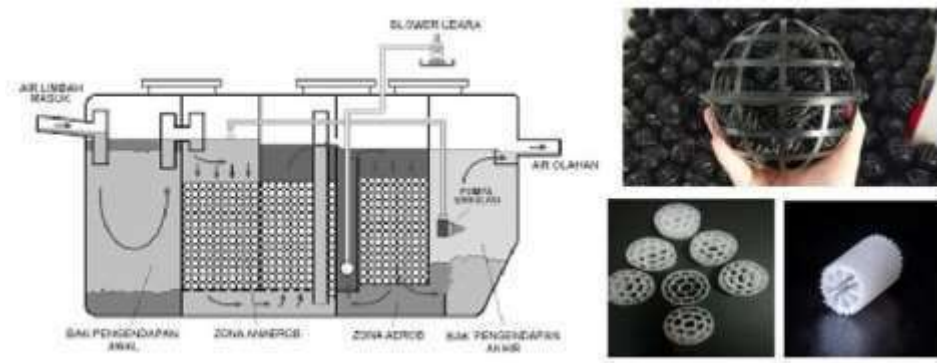
Biofilter Aerob adalah unit pengolahan air limbah dengan prinsip biofilm atau biofilter terendam yang dialirkan air limbah ke dalam reaktor

biologis yang telah terisi dengan media untuk pengembangbiakan bakteri dengan penambahan oksigen melalui aerasi. Terdapat beberapa cara untuk

penginjeksian oksigen antara lain aerasi samping, aerasi tengah, aerasi merata, aerasi eksternal, aerasi dengan air lift pump, dan aerasi dengan cara mekanik. Sistem aerasi atau injeksi oksigen bergantung pada jenis media yang dipakai dan efisiensi yang akan dicapai (Said, 2017).

Menurut Said (2017), beban pencemar biofilter aerob lebih rendah sehingga ditempatkan setelah proses anaerob terjadi. Efluen pengolahan anaerobic masih mengandung zat organik dan nutrisi dikonversi menjadi sel bakteri baru, hydrogen maupun karbon dioksida oleh sel bakteri dalam kondisi cukup oksigen. Parameter polutan yang ada pada air limbah seperti BOD, COD, ammonia, dan fosfor akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan media. Parameter polutan tersebut didegradasi oleh mikroorganisme yang terdapat pada lapisan biofilm dengan menggunakan oksigen yang terlarut. Sehingga energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa.

Di dalam reaktor biofilter diisi dengan media plastik tipe sarang tawon serta pemberian aerasi dengan menghembuskan udara melalui diffuser untuk membantu mikroorganisme mengurai zat organik. Mikroorganisme akan tumbuh dan menempel pada media. Mikroorganisme yang tumbuh dapat secara tersuspensi maupun melekat sehingga dapat meningkatkan efisiensi penguraian bahan organik, deterjen serta proses nitrifikasi dan penyisihan amoniak menjadi lebih besar. Proses ini merupakan aerasi kontak (Said, 2017).



Gambar 2.4 Skema kerja dan media biofilter aerobik dalam tangki

(Sumber: Nusa Idaman Said, 2017)

Dalam pengolahan aerobik-anaerobik menggunakan aerobik biofilter memanfaatkan teknologi biofilm yang membutuhkan media tumbuh organisme dari materi yang kasar, keras, tajam, dan kedap air. Menurut Nusa Idaman Said (2017), terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menerapkan unit pengolahan aerobik ini, antara lain :

- i. Jenis media, bahan untuk media aerobik biofilter harus kuat, keras, dan tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan per menit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah batu kali, kerikil, dan sebagainya.
- ii. Diameter media, biasanya diameter media aerobik biofilter antara 2,5- 2,0. Sebaiknya dihindari penggunaan media dengan ukuran yang terlalu kecil karena akan memperbesar kemungkinan penyumbatan. Makin luas permukaan media maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya.
- iii. Ketebalan susunan media, ketebalan media aerobik biofilter minimum adlah 1 meter maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka semakin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme.
- iv. pH, pertumbuhan mikroorganisme, khususnyabakteri dipergaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik, diusahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH

optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman bagi mikroorganisme.

- v. Suhu/temperature, suhu yang baik untuk mikroorganisme adalah 25- 37°C. Selain itu suhu juga mempengaruhi suatu kecepatan dari suatu proses biologis.

Tabel 2.7 Kelebihan dan Kekurangan Unit Biofilter

Kelebihan	Kekurangan
Mampu menghilangkan konsentrasi BOD, COD, dan parameter organic lain dengan efektivitas yang tinggi.	Sangat efektif apabila dirancang dengan menggunakan system uplow
Mampu menghilangkan/mengurangi konsentrasi TSS, detergen, ammonium, dan fosfor	Membutuhkan waktu picu (starter time) yang lebih lama
Pengelolaan, maintenance yang mudah dan praktis tanpa memerlukan tenaga ahli.	Apabila banyak terdapat padatan limbah yang masuk dapat menimbulkan penyumbatan
Biaya operasi unit yang rendah (tingkat aerasi rendah) dan tidak memerlukan lahan yang luas	Tidak tahan terhadap minyak dan lemak (grease)
Dibandingkan dengan unit activated sludge, lumpur yang dihasilkan lebih sedikit	
Dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor	

(Sumber: Kaswinarni, 2007)

Pengolahan air limbah dengan proses biofilm tercelup mempunyai beberapa keunggulan antara lain :

- i. Pengoperasiannya mudah
Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm, tanpa dilakukan sirkulasi lumpur, tidak terjadi masalah “bulking” seperti pada proses lumpur aktif (Activated sludge process). Oleh karena itu pengelolaannya sangat mudah.
- ii. Lumpur yang dihasilkan sedikit
Dibandingkan dengan proses lumpur aktif lumpur yang dihasilkan pada proses biofilm relatif lebih kecil. Di dalam proses lumpur aktif antara 30–60% dari BOD yang dihilangkan (removal BOD) akan diubah menjadi lumpur aktif (biomasa) sedangkan pada proses biofilm hanya sekitar 10-30 %. Hal ini disebabkan karena pada proses biofilm rantai makanan lebih panjang dan melibatkan aktifitas mikroorganisme dengan orde yang lebih tinggi dibandingkan pada proses lumpur aktif.
- iii. Dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.
Oleh karena di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm mikroorganisme atau mikroba melekat pada permukaan medium penyangga maka pengontrolan terhadap mikroorganisme atau mikroba lebih mudah. Proses biofilm tersebut cocok digunakan untuk mengolah air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.
- iv. Tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi.
Di dalam proses biofilter, mikro-organisme melekat pada permukaan unggun media, akibatnya konsentrasi biomasa mikro-organisme per satuan volume relatif besar, sehingga relative tahan terhadap fluktuasi beban organik maupun fluktuasi beban hidrolis.
- v. Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil.
Jika suhu air limbah turun maka aktifitas mikroorganisme juga berkurang, tetapi oleh karena di dalam proses biofilm substrat maupun enzim dapat terdifusi sampai ke bagian dalam lapisan biofilm dan juga lapisan biofilm

bertambah tebal maka pengaruh penurunan suhu (suhu rendah) tidak begitu besar.

Media filter seperti kerikil, batu atau plastic memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraian. Sebuah media filter yang baik memiliki 90-300 m² luas permukaan setiap m³ volume reactor. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Berdasarkan penelitian Said (2017), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon. Hal ini dapat dilihat pada perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada tabel berikut (Said 2017):

Tabel 2.8 Perbandingan luas permukaan spesifik media biofilter

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m ² /m ³)
1.	<i>Trickling filter</i> dengan batu pecah	100-200
2.	Modul <i>Honeycomb</i> (sarang tawon)	150-240
3.	Tipe jaring	50
4.	RBC	80-150
5.	Bio-ball (random)	200-240

(Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 292)

Media yang diisi pada ruang bed media memiliki kriteria tersendiri. Beberapa kriteria tersebut antara lain adalah mempunyai luas permukaan spesifik besar, tahan terhadap penyumbatan, dibuat dari bahan inert, harga per unit luas permukaannya murah, ringan, fleksibel, pemeliharaan mudah dan kebutuhan energi kecil. Tujuan dari pemilihan media ini adalah untuk memperoleh luas permukaan yang luas dan murah, biaya konstruksi reaktor rendah dan tidak adanya penyumbatan (Said, 2017).

Menurut Nusa Idaman Said (2017) kriteria desain untuk media biofilter aerob dan abnaerob adalah sebagai berikut:

- Biofilter Anaerob
 - a. Waktu tinggal (T_d) = 6-8 jam
 - b. Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
 - c. Beban BOD/Volume media = 0,4-4,7 kg BOD/ m^3 .hari
 - d. Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5-30 g/ m^2 .hari
 - e. Tinggi bed media pembiakan mikroba = 0,9-1,5 m
 - f. Efisiensi penyisihan BOD 90-95%
- Media Biofilter Anaerob
 - a. Tipe = sarang tawon
 - b. Material = PVC Sheet
 - c. Ketebalan = 0,15-0,23 mm
 - d. Luas kontak spesifik = 150-226 m^2/m^3
 - e. Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
 - f. Berat spesifik = 30-35 kg/ m^3
 - g. Porositas rongga = 0,98
- Biofilter Aerob
 - a. Waktu tinggal (T_d) = 6-8 jam
 - b. Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
 - c. Beban BOD/Volume media = 0,5-4,0 kg BOD/ m^3 .hari
 - d. Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5-30 g/ m^2 .hari
 - e. Tinggi bed media pembiakan mikroba = 1,2 m
 - f. Efisiensi penyisihan BOD = 90-95%
- Media Biofilter Aerob
 - a. Tipe = sarang tawon
 - b. Material = PVC Sheet
 - c. Ketebalan = 0,15-0,23 mm
 - d. Luas kontak spesifik = 150-226 m^2/m^3
 - e. Diameter lubang = 3 cm x 3 cm

- f. Berat spesifik = $30\text{-}35 \text{ kg/m}^3$
- g. Porositas rongga = 0,98

(Sumber : Said, N.I. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi. Halaman: 302-309. Jakarta: Erlangga)

- Blower Udara
 - a. Densitas udara = $1,2 \text{ kg/m}^3$
 - b. Berat aliran udara (w) = $85\text{-}1700 \text{ m}^3/\text{menit}$
 - c. Tekanan absolut outlet (P2) = $25 \text{ lb/in}^2 = 1,7 \text{ atm}$
 - d. Teknaan absolut inlet (P1) = $14,7 \text{ lb/in}^2 = 1 \text{ atm}$
 - e. Konstanta udara = $8,314 \text{ kJ/mol.K}$
 - f. $K = 1,395$
 - g. $N = \frac{(k-1)}{k} = \frac{(1,395-1)}{1,395} = 0,28$
 - h. Efisiensi = 70-90%

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004. Hal 440)

Berikut merupakan tahapan dan rumus-rumus yang biasa digunakan dlam perhitungan unit biologis:

A. Perhitungan Biofilter Anaerobik

- Beban BOD di dalam air limbah

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit Limbah (Q)} \times \text{BOD inlet}$$
- Volume media yang diperlukan

$$\text{Volume} = \frac{\text{Beban BOD dalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$$
- Volume reaktor yang diperlukan

$$V \text{ Reaktor} = (100/40) \times V \text{ Media}$$
- Waktu Tinggal dalam Reaktor (Td)

$$Td = \frac{V \text{ Reaktor}}{\text{Debit air limb}} \times 24 \text{ jam}$$
- Dimensi Reaktor

$$V \text{ Reaktor} = P \times L \times T$$

Keterangan :

P = Panjang

L = Lebar

T = Tinggi

- Dimensi Media

$$V = P \times L \times T$$

- BOD Loading

$$\text{BOD Loading} = \frac{\text{BOD Loading per volume media}}{\text{Luas spesifik media}}$$

- Produksi Sludge

$$V \text{ Lumpur} = \frac{\text{Beban COD Lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

- Pipa Outlet Anaerobik

$$A = Q/v$$

Keterangan :

Q = Debit limbah

V = Kecepatan aliran

- Diameter Pipa Outlet

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

B. Perhitungan Biofilter Aerobik

- Beban BOD di dalam air limbah

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit Limbah (Q)} \times \text{BOD inlet}$$

- Volume media yang diperlukan

$$\text{Volume} = \frac{\text{Beban BOD dalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$$

- Volume reaktor yang diperlukan

$$V \text{ Reaktor} = (100/40) \times V \text{ Media}$$

- Waktu Tinggal dalam Reaktor (Td)

$$T_d = \frac{V \text{ Reaktor}}{\text{Debit air limb}} \times 24 \text{ jam}$$

- Dimensi Reaktor

$$V \text{ Reaktor} = P \times L \times T$$

Keterangan :

P = Panjang

L = Lebar

T = Tinggi

- Perhitungan ruang aerasi dan ruang media

$$\text{Volume media} = P \times L \times T$$

- Total Volume efektif biofilter aerobik

$$V \text{ Total} = P \times L \times T$$

- BOD Loading per volume media

$$\text{BOD Loading} = \frac{V \text{ Total}}{V \text{ Media}}$$

- BOD Loading

$$\text{BOD Loading} = \frac{\text{BOD Loading per volume media}}{\text{Luas spesifik media}}$$

- Produksi Sludge

$$V \text{ Lumpur} = \frac{\text{Beban COD Lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

- Kebutuhan udara untuk menghilangkan BOD

$$\text{BOD effluent} = \text{BOD inlet} \times \% \text{ removal BOD removal} = \text{BOD Inlet} - \text{BOD}$$

$$\text{Effluent Beban BOD} = \text{Debit (Q)} \times \text{BOD removal}$$

$$\text{Kebutuhan Oksigen Sebenarnya} = \text{Beban BOD} \times \text{Faktor Keamanan Faktor}$$

$$\text{keamanan} = \pm 2 \text{ (Nusa Idaman Said, 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah)}$$

$$\text{Laju Transfer Oksigen Spesifik} = \frac{\text{Kebutuhan oksigen sebenarnya}}{0,7}$$

$$\text{Kebutuhan Udara} = \frac{\text{Laju transfer oksigen spesifik}}{23,2 \%}$$

$$\text{Kebutuhan Udara Total} = \frac{\text{Kebutuhan Udara}}{0,8}$$

- Blower Udara

$$\text{Daya Blower (Pw)}$$

$$Pw = \left[\frac{w \times R \times T1}{550 \times n \times e} \right] \times \left[\left(\frac{P2}{P1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

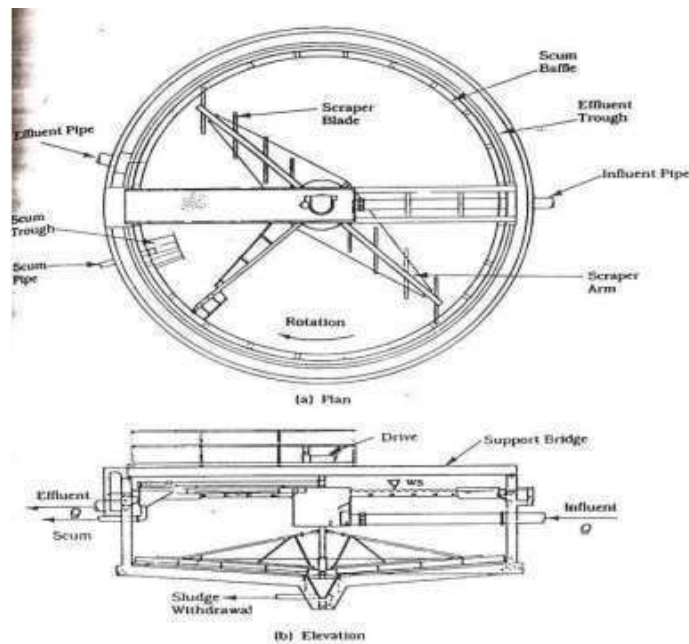
b. Clarifier

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri patogen lainnya. Clarifier sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing – masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi (Metcalf & Eddy, 2004).

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1 – 2 jam. Kedalaman clarifier rata – rata 10 – 15 feet (3 – 4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter) (Metcalf & Eddy, 2004).

Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang telah diolah dan ditampung di secondary clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll. Pada secondary clarifier ini tergantung pada kedalaman tangki, bedanya dengan preliminary clarifier yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun masalahnya pada secondary clarifier adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi (Metcalf & Eddy, 2004).



Gambar 2.5 Secondary Treatment

Gambar 2.6 Sludge Digester
Gambar 2.7
Secondary Treatment

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2004)

- **Kriteria Perencanaan :**

1. Kedalaman (H) = 3 – 4,9 m
2. Diameter = 3 – 60 m
3. Bottom slope = 1/16 – 1/6 mm/mm
4. Flight speed = 0,02 – 0,05 m/menit

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 398)

5. Waktu detensi = 1,5 – 2,5 jam
6. Over flow rate
Average = $30 - 50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$
Peak = $80 - 120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$
7. Weir loading = $125 - 500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 398)

8. Diameter inlet well = 15% - 20% diameter bak

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 401)

9. % Removal Total Suspended Solid (TSS) = 50 – 70%

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 497)

10. Konsentrasi solid = 4% - 12%

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 411)

11. Massa jenis air (ρ), $T = 30^{\circ}\text{C} = 0,99568 \text{ g/cm}^3 = 9,957 \text{ kg/L}$

12. Viskositas kinematik (ν) = $0,8039 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

13. Viskositas dinamik (μ) = $0,8004 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2$

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 762 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company)

14. Bilangan Reynold (NRE) untuk $V_s = < 1$ (Laminer)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 224. Boston: PWS Publishing Company)

15. Spesific gravity sludge (S_g) = 1,005

16. Spesific gravity solids (S_s) = 1,25

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 1456)

17. Bilangan Reynold (NRE) untuk $V_h = 105$

(Sumber: SNI 6774 Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air 2008, hal 6)

18. Ketinggian inlet well = 0,5 – 0,7 m

19. Kecepatan inlet well = 0,3 - 0,75 m/s

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 401)

20. Slope dasar bak = 6-10 %

(Sumber: Huisman, Sedimentation and Flotation, hal 44)

- **Rumus Perhitungan**

1. Luas Surface Area (A)

$$A = \frac{Q \text{ in } (m^3/s)}{OFR \text{ } m^3/m^2.har}$$

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 409)

2. Over Flow Rate

$$OFR = \frac{Q \text{ in } (m^3/s)}{A \text{ } (m^2)}$$

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 410)

3. Kecepatan Pengendapan Partikel

$$V_s = \frac{H \text{ } (m)}{T_d}$$

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 368)

4. Diameter Partikel

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \cdot 18 \cdot \nu}{g \text{ } (Sg-1)}}$$

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 413)

5. Nre

$$N_{re} = \frac{\rho_s \cdot D_p \cdot V_s}{\mu}$$

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, Hal 224 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company)

6. Kecepatan Horizontal (Vh)

$$V_h = \frac{Q \text{ in } (m^3/s)}{\pi D (m) \times H (m)}$$

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 228 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company**)

$$7. \quad n = \frac{L \text{ Weir}}{\text{Jarak antar weir}}$$

$$8. \quad Q = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

(Sumber: Syed R. Qasim, **Wastewater Treatment and Reuse, Vol 1, Guang Zhu, hal: 9-21 9-26, 459-460**)

c. Adsorpsi

Adsorpsi atau penerapan adalah proses pemisahan di mana komponen tertentu di dalam fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang mempunyai sifat dapat menyerap (adsorbent). Sebagian besar zat pengadsorpsi atau adsorben merupakan bahan-bahan yang sangat porous dengan luas permukaan yang besar, sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung pada permukaan atau dinding-dinding pori atau pada bagian tertentu di dalam partikel adsorben. Karena ukuran pori-pori tersebut sangat kecil, maka luas permukaan dalam menjadi sangat besar dibandingkan dengan luas permukaan luar (Said, 2017).

Proses adsorpsi dapat terjadi karena perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang dapat menyebabkan sebagian seluruh molekul polutan melekat di permukaan partikel adsorben. Di dalam proses pengolahan air, proses adsorpsi umumnya digunakan untuk menyerap atau menghilangkan senyawa polutan dengan konsentrasi yang sangat kecil (polutan mikro), penghilangan warna, penghilangan bau dan lainnya. Bahan adsorben yang banyak digunakan antara lain adalah karbon aktif (activated carbon), silika aktif (activated alumina), zeolit dan lainnya (Said, 2017).

Di dalam proses pengolahan air, karbon aktif banyak digunakan untuk menghilangkan kandungan zat-zat yang tidak dapat dibersihkan atau dihilangkan dengan teknik pengolahan biasa seperti koagulasi, flokulasi, dan pengendapan.

Polutan di dalam air yang tidak dapat dihilangkan dengan cara pengolahan biasa antara lain adalah bau, detergen, senyawa fenol, zat warna organik, amonia dan zat-zat organik lainnya.

Perencanaan fasilitas pengolahan air dengan karbon aktif sangat dipengaruhi oleh kualitas air yang akan diolah serta jenis maupun sifat dari karbon aktifnya. Ada 2 (dua) tipe karbon aktif yang sering dipakai untuk pengolahan air yaitu karbon aktif bubuk atau Powder Activated Carbon (PAC) dan karbon aktif butiran atau Granular Activated Carbon (GAC) yang mana keduanya mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam segi proses maupun segi ekonominya (Said, 2017) .

Pada umumnya pengolahan air dengan karbon aktif bubuk dipilih atau dilakukan dengan pertimbangan untuk pengolahan dalam keadaan darurat atau untuk jangka pendek. Sedangkan untuk proses yang kontinu atau untuk jangka waktu yang lama penggunaan karbon aktif butiran (granular) mempunyai keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif bubuk. Namun demikian, pada kondisi tertentu kombinasi antara keduanya sering juga dilakukan (Said, 2017).

Sifat dan Jenis Karbon Aktif :

Karbon aktif merupakan zat karbon yang berwarna hitam dan mempunyai porositas yang tinggi. Diameter partikel molekul karbon aktif antara 10-105 [Å] dan luas permukaan spesifiknya antara 500-1500 m² per gram, mempunyai daya

adsorpsi yang besar terhadap zat-zat misalnya detergen, senyawa fenol, warna organik, gas H₂S, metana dan zat-zat organik lainnya dalam bentuk gas maupun cairan (Maron, 1965 dalam Said, 2017).

Karbon aktif biasanya dibuat dari bahan baku yang mengandung karbon (C), misalnya, batok kelapa, limbah kayu, arang, batu bara atau senyawa karbon lainnya, dengan cara memanaskan tanpa oksigen pada suhu tinggi (distilasi kering) serta diaktifkan dengan proses tertentu sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang lebih spesifik. Daya adsorpsi karbon aktif tergantung dari ukuran partikel atau luas permukaan spesifiknya dan juga cara pengaktifannya. Dilihat dari bentuk ukuran

partikelnya dapat digabungkan dalam dua jenis yaitu karbon aktif bubuk (Powder Activated Carbon, disingkat PAC) dan karbon aktif butiran (Granulas Activated Carbon, disingkat GAC) (Said,2017).

- Karbon Aktif Bubuk (Powder Activated Carbon)
Karbon aktif bubuk mempunyai ukuran partikel yang sangat halus yaitu sekitar 50-75 μ (mikron). Karena ukurannya sangat halus dan ringan maka pengerjaannya sangat sulit (mudah terbang), sehingga biasanya dicampur dengan air dengan kandungan sekitar 30-50% .
- Karbon Aktif Butiran (Granular Activated Carbon)
GAC adalah karbon aktif dalam bentuk butiran atau kepingan (flake) dengan ukuran partikel 0,16-1,5 mm.

Prinsip Dasar Adsorpsi dengan Karbon Aktif :

Proses pengolahan air dengan karbon aktif merupakan proses adsorpsi secara fisis (*physical adsorption*) yaitu proses terkonsentrasinya molekul-molekul adsorbate (zat yang akan diadsorpsi dalam air (misalnya zat organik dll) ke permukaan karbon aktif karena adanya gaya tarik-menarik antara molekul karbon aktif dengan molekul-molekul adsorbate yang ada dalam air (gaya Van der Waals). Karbon aktif adalah salah satu zat yang mempunyai daya menyerap zat-zat polutan yang ada dalam air sehingga zat tersebut akan menempel atau terkonsentrasi pada permukaan karbon aktif, sehingga konsentrasi zat polutan yang ada dalam air tersebut menjadi hilang atau berkurang. Proses ini disebut adsorpsi (Said, 2017).

- Kriteria Perencanaan
 - Volume flowrate (V) = 50 – 400 m^3 /hari
 - Volume bed (Vb) = 10 – 50 m^3
 - Luas penampang = 5 – 30 m^2
 - Panjang bed media (D) = 1,8 – 4 m
 - Densitas (GAC) = 350 – 550 kg/m^3
 - Kecepatan aliran bed (Vf) = 5 – 15 m/jam
 - Waktu kontak bed kosong = 5 – 30 menit

- Waktu kontak efektif (t) = 2 – 10 menit
- Waktu operasi = 100 – 600 hari

(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, page 1152)

- Kf (Trichloroethylene) = 28 (mg/g) (L/mg)
- 1/n (Trichloroethylene) = 0,62

(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, page 1143)

2.4.4 Pengolahan Tersier (Tertiary Treatment)

Pengolahan tersier (*Tertiary / Advanced Treatment*) dilakukan jika setelah pengolahan primer dan sekunder masih terdapat zat tertentu dalam air limbah yang dapat berbahaya bagi lingkungan atau masyarakat. Pengolahan tersier bersifat khusus, artinya pengolahan ini disesuaikan dengan kandungan zat yang tersisa dalam limbah cair. Pengolahan ini ditujukan untuk menghilangkan bahan yang sifatnya spesifik untuk limbah tertentu. Unit pengolahan yang dipakai pada tahap ini bekerja secara fisika, kimia, dan biologi, misalnya ion exchange, desinfeksi (klorinasi) reverse osmosis, dan nitrifikasi.

2.4.5 Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah domestik. Pengolahan lumpur memiliki beberapa tujuan, yakni mengurangi kadar air, menstabilkan, serta menghilangkan mikroorganisme patogen yang berpotensi terkandung di dalam lumpur. Hal ini dilakukan agar lumpur yang telah diproses dapat lebih aman ketika dibuang atau dimanfaatkan untuk keperluan terbatas. 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 (Takashi Asano & Professor, 2007).

Sludge dalam *disposal sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan antara lain:

- a. *Sludge* sebagian besar di komposisi dari bahan-bahan yang *responsible* untuk menimbulkan bau.
- b. Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis di komposisi dari bahan organik.
- c. Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0.25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah untuk mereduksi kadar lumpur, dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Adapun unit pengolahan lumpur diantaranya adalah *sludge drying bed*. *Sludge drying bed* merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa *drain* untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari. Adapun beberapa teknologi dalam pengolahan lumpur antara lain sebagai berikut:

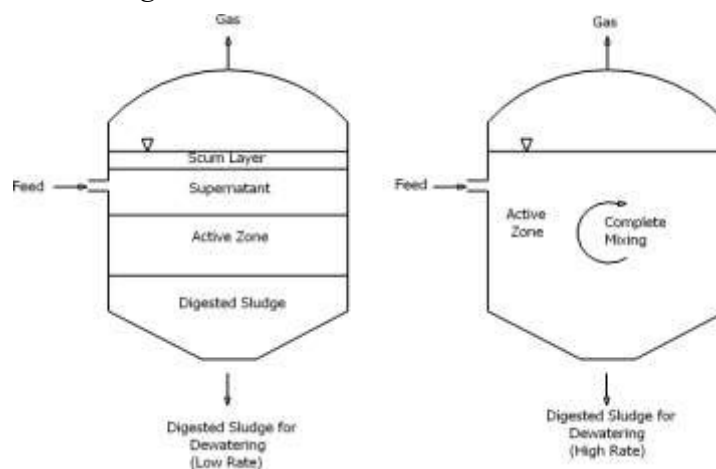
a. *Sludge Digester*

Proses anaerobik digester membutuhkan pencampuran yang baik antara biomass anaerob dengan air limbah, maka diperlukan sistem pengadukan. Sistem Anaerobik Digester berfungsi untuk menguraikan senyawa organik dengan menggunakan mikroba anaerobik berupa kolam tertutup dengan mixer sebagai pengaduk. Unit ini harus diikuti oleh unit pengolahan aerobik sebagai pelengkap. Lumpur biologis yang terbentuk dipisahkan dari air pada tahapan selanjutnya yakni pemekatan/pemisahan padatan dan cairan. Lumpur biologis selanjutnya diolah di unit pengolahan lumpur (Nawansih et al., 2022).

Teknologi pengolahan yang digunakan adalah sistem pengolahan Anaerobic Digester tanpa bantuan alat mekanis. Anaerobic Digester non Listrik berupa kolam tertutup. Unit ini harus diikuti oleh unit pengolahan aerobik sebagai pelengkap. Lumpur biologis yang terbentuk akan dipisahkan dengan air di unit ini. Lumpur biologis selanjutnya diolah di unit pengolahan lumpur. Filtrat atau air hasil olahan

diolah kembali melalui unit pengolahan cairan sebelum filtrat dibuang ke badan air penerima. Unit anaerobik (tanpa bantuan oksigen) tidak menggunakan alat pengaduk (mixer). Di unit anaerobik, lumpur mikroba akan mengendap ke bawah karena tidak ada pengadukan, sehingga bagian bawah dasar bak dirancang berbentuk kerucut agar mudah mengendap. Lumpur yang terbentuk akan mengendap ke bawah secara gravitasi (Kurniasari, 2018).

Kriteria desain unit pengolahan lumpur atau sluge digester terdapat 2 jenis *standart rate* dan *high rate* antara lain:



Gambar 2.8 Sludge Digerster

Tabel 2.9 Kriteria Desain *Sluge Digerster*

Jenis Unit <i>Sluge Digerster</i>	<i>standart rate</i>	<i>high rate</i>
<i>Solid retention time</i> (SRT)	30 – 60 hari	20 - 30 hari
<i>Sludge loading</i>	0,64 – 1,6 kg Vs/m ³ .hari	2,4 – 6,41 kg Vs/m ³ .hari
Volume kriteria	0,06 – 0,08 m ³ /kapita	0,02 -0,04 m ³ /kapita
<i>Sludge feed solids concentration</i>	2 - 4 %	4 - 5 %
<i>Digested solids underflow concentration</i>	4 - 6 %	4 - 6 %
Diameter	20 - 125 ft	20 - 125 ft

(Sumber: Kriteria Teknis Prasarana dan sarana Pengelolaan Air Limbah, PU, 2006)

Berikut merupakan tahapan serta rumus-rumus yang dibutuhkan ketika melakukan perhitungan unit *sludge digester* :

- Berat Lumpur *influent*

$$\text{Berat Lumpur } \textit{influent} = \text{debit lumpur (Q)}$$
- Berat Lumpur Solid Influent

$$\text{Berat Lumpur solid influent} = (5\% \times \text{debit lumpur}) \times \text{berat jenis solid}$$
- Total Solid sebagai VSS

$$\text{Berat solid (VSS)} = 0,8 \times \text{berat solid (SS)}$$
- VSS yang tereduksi dari Total Berat Solid (VSS)

$$\text{Berat Solid (VSS)} = 30\% \times \text{berat solid (VSS)}$$
- VSS yang lolos dari digester (VSS effluent)

$$\text{VSS eff} = 70\% \text{ berat solid (VSS)}$$
- *Fixed Suspended Solid* (FSS)

$$\text{FSS} = 0,2 \times \text{berat solid (VSS)}$$
- Berat Solid yang lolos dari ASD (*Solid Effluent*)

$$\text{Solid effluent} = \text{VSS effluent} + \text{FSS}$$
- *Spesific gravity* lumpur VSS yang keluar dari ASD (Pv)

$$P_v = \frac{\text{VSS effluent}}{\text{Solid Effluent}} \times 100\%$$
- *Spesific gravity* Lumpur FSS yang keluar dari ASD (Pf)

$$P_f = 100\% - P_v$$
- *Spesific gravity* solid keluar dari ASD

$$\frac{1}{s_g} = \frac{P_v}{s_v} + \frac{P_f}{s_f}$$
- Sludge Keluar dari Digester (*Sludge Effluent*) Berat Lumpur (W Lumpur)

$$W \text{ Lumpur} = \frac{\text{Berat solid effluent}}{\text{Kadar solid out}}$$
- Sludge Keluar dari Digester (*Sludge Effluent*) Volume Lumpur

$$V \text{ Lumpur} = \frac{\text{Berat lumpur}}{\text{BJ Lumpur}}$$
- Sludge Keluar dari Digester (*Sludge Effluent*) Volume Air

$$\text{Volume air} = 65\% \times \text{Volume Lumpur}$$

- Volume Tangi Digester

$$Vol = (V_f - \frac{2}{3} \times (V_f - V_d)) \times t$$

- Luas Permukaan (As)

$$As = \frac{Vol}{H}$$

- Luas Permukaan (As) tiap bak

$$As \text{ tiap bak} = \frac{As}{n}$$

- Diameter (D)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

- Kedalaman Total

$$H \text{ Total} = H + \text{Freeboard}$$

$$H \text{ Total} = H + (H \times 20\%) \text{ Kedalaman Total}$$

- Check Solid Loading

$$\text{Solid Loading} = \frac{\text{Berat solid influent}}{Vol}$$

- Kebutuhan Gas

- (So-S)

$$P_x = \frac{(Y \times (S_o - S))}{(1 + (K_d \times q_e))}$$

Keterangan:

Y = yield coefficient (lb/lb) = 0,05 lb cells/lb BODL utilized

Kd = endogenous coefficient (/hari) = 0,03 /hari

Qc = mean cell-residence time (hari) = 10 hari

(pada suhu operasi 35°C)

- Volume CH₄

$$\text{Volume } CH_4 = \frac{5,62}{[(S_o - S) - 1,42 \times P_x]}$$

Keterangan :

Volume CH₄ = volume dari gas metana yang diproduksi pada kondisi standar, 0 °C dan 1 atm (ft³/hari)

5,62 = theoretical conversion factor untuk sejumlah gas metana

yang diproduksi dari konversi lengkap 1 lb BODL Menjadi gas metana dan karbon dioksida (ft³ CH₄/lb BODL oxidized)

So = ultimate BODL di influent (lb/hari)

S = ultimate BODL di effluent (lb/hari)

Px = jumlah volatile solid yang diproduksi setiap hari (lb/hari)

- Volume Gas

$$\text{Volume Gas} = \frac{\text{Volume CH}_3}{0,67}$$

- Kebutuhan Panas

- Heating Required untuk Lumpur

$$H = \text{berat lumpur} \times C_p (T_2 - T_1)$$

- Luas Area dari Dinding

$$\text{Area Dinding} = p \times D \times \text{side depth}$$

- Luas Area dari Alas (Lantai)

$$\text{Area alas} = p \times \text{center depth} \times \left[\text{center depth}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \text{side depth} \right)^2 \right]^{1/2}$$

- Luas Area dari Atap (Atas)

$$\text{Area Atap} = p \times \text{center depth}^2$$

- Kehilangan Panas Tiap Area Dinding

$$q = U \times A \times (T_2 - T_1)$$

Keterangan:

q = kehilangan panas (W)

U = overall coefficient of heat transfer (W/m².oC)

A = cross-sectional area dimana kehilangan panas terjadi (m²) T₂
= suhu di dalam digester

T₁ = suhu di luar digester

- Kehilangan Panas Tiap Area Alas

$$q = U \times A \times (T_2 - T_1)$$

Keterangan:

q = kehilangan panas (W)

U = overall coefficient of heat transfer (W/m².°C)

A = cross-sectional area dimana kehilangan panas terjadi (m²)

T2 = suhu di dalam digester

T1 = suhu di luar digester

- Kehilangan Panas Tiap Area Atap

$$q = U \times A \times (T2 - T1)$$

Keterangan:

q = kehilangan panas (W)

U = overall coefficient of heat transfer (W/m².°C)

A = cross-sectional area dimana kehilangan panas terjadi (m²)

T2 = suhu di dalam digester

T1 = suhu di luar digester

- Total Kehilangan Panas Tiap Area

$$q_{\text{Total}} = q_{\text{(Dinding)}} + q_{\text{(Alas)}} + q_{\text{(Atap)}}$$

- Total Kebutuhan Panas Untuk Digester (Q)

$$Q = H + q_{\text{total}}$$

b. Sludge Drying Bed

Prinsip bak pengering lumpur yaitu mengeluarkan air lumpur melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa dilakukan proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan bak pengering lumpur. Bak pengering berupa bak dangkal yang berisi media penyaring pasir, batu kerikil sebagai penyangga pasir serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar dibuat saluran pembuangan air dan di atasnya diberi lapisan kerikil dan lapisan pasir kasar. Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengering alami dengan matahari, maka air akan berkurang melalui saringan dan proses penguapan. Kelebihan bak pengering lumpur adalah sistem operasi yang mudah dan sederhana serta biaya operasional rendah. Kelemahan bak pengering lumpur adalah membutuhkan lahan yang cukup luas dan sangat bergantung dengan cuaca (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.10 Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Tebal pasir	23-30	cm	Qasim, 1985
2.	Tebal kerikil	20-30	cm	
3.	<i>Sludge loading rate</i>	100-300	kg/m ² .tahun	
4.	Tebal <i>bed</i>	20-30	cm	
5.	Lebar <i>bed</i>	5-8	m	
6.	Panjang <i>bed</i>	6-30	m	
7.	Waktu pengeringan	10-15	hari	
8.	<i>Uniformity coefficient</i>	<4	-	
9.	<i>Effective size</i>	0,3-0,75	mm	
10.	V air dalam <i>inlet</i>	0,75	m/detik	
11.	V air dalam drain	0,75	m/detik	
12.	Tebal lumpur	200-300	mm	
13.	Kecepatan Pipa Underdrain	0,75	m/detik	Metcalf & Eddy 4 th

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
14.	Diameter Pipa Underdrain	> 100	Mm	Edition., 2003
15.	Koef. Keseragaman	< 4	-	
16.	Ukuran Efektif	0,3-0,785	%	
17.	<i>Slope</i>	> 1	%	
18.	Rasio lebar:panjang	6:6-30	-	

(Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018)

Adapun rumus yang digunakan pada unit pengolahan Sludge Drying Bed (SD) adalah sebagai berikut :

- Tebal Media

Tebal Media = tebal pasir + tebal kerikil + tebal cake

- Volume Cake Sludge

$$V_i = \frac{V_{Lumpur} \times (1-P)}{1-P_i}$$

Keterangan:

P = Kadar air

P_i = Berat air dalam *cake* (60 – 70%)

- Volume Bed

$$V = V_i \times T_d$$

Keterangan:

V_i = volume cake sludge

T_d = waktu detensi (detik)

- Volume Tiap Bed

$$V_b = \frac{V}{Jumlah\ Bed}$$

Keterangan:

V = Volume bed

- Dimensi Tiap Bed

$$A = \frac{V_b}{Tebal\ cake}$$

$$A = L \times W$$

Keterangan :

V_b = volume tiap bed

L = Panjang (m)

W = lebar (m)

- Kedalaman Underdrain

$$H = \frac{V_a}{A}$$

Keterangan:

V_a = Volume air

A = luas tiap bed

- Kedalaman Total

H = tinggi cake + tinggi media

$$H \text{ Total} = H + Fb$$

Keterangan:

H Total = Kedalaman Bak (m)

Fb = Freeboard (10% - 30% kedalaman)

- Diameter Pipa Underdrain

$$Q = \frac{Va}{Td}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi}}$$

Keterangan:

Va = Volume air

Td = Waktu detensi

- Volume air

$$Va = \frac{\text{volume cake sludge} - \text{volume padatan}}{\text{Jum Bed}} \times Td$$

Keterangan:

Td = Waktu Detensi

2.5 Persen Penyisihan Unit Pengolahan

Tujuan dari proses pengolahan limbah adalah menurunkan beban pencemar pada limbah tersebut. Banyaknya penurunan beban pencemar tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Setiap bangunan memiliki kemampuan menurunkan beban pencemar yang berbeda-beda. Berdasarkan studi literature yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman % penyisihan untuk air limbah industri karet beserta sumber yang tertera pada tabel berikut ini :

Unit Pengolahan	Parameter	Kemampuan Penyisihan	Literatur
Biofilter Anaerob	BOD	90-95%	Said, Nusa Idaman. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Hal 305

	COD	70-90%	Nam, HU., Lee, JH., Kim, YO. <i>et al.</i> Comparison of COD, nitrogen and phosphorus removal between anaerobic/anoxic/aerobic and anoxic/aerobic fixed biofilm reactor using SAC (Synthetic Activated Ceramic) media. <i>Korean J. Chem. Eng.</i> 15, 429–433 (1998).
	Nitrogen	80%	Nam, HU., Lee, JH., Kim, YO. <i>et al.</i> Comparison of COD, nitrogen and phosphorus removal between anaerobic/anoxic/aerobic and anoxic/aerobic fixed biofilm reactor using SAC (Synthetic Activated Ceramic) media. <i>Korean J. Chem. Eng.</i> 15, 429–433 (1998).
	Fosfat	60-80%	Xin, X., Liu, S., Qin, J. <i>et al.</i> Performances of simultaneous enhanced removal of nitrogen and

			phosphorus via biological aerated filter with biochar as fillers under low dissolved oxygen for digested swine wastewater treatment. <i>Bioprocess Biosyst Eng</i> 44, 1741–1753 (2021).
	TSS	94%	Khusnul, A., & Putu, W. (2015). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerob Bermedia Plastik (Bioball). <i>Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan</i> , 7(2), 55–66.
Biofilter Aerob	BOD	98.48%	Malakootian, M., Toolabi, A. & Hosseini, S. Advanced treatment of effluent extended aeration process using biological aerated filter (BAF) with natural media: modification in media, design and backwashing process. <i>AMB Expr</i> 11, 100 (2021).
	COD	92.42%	
	Fosfat	93.3%	

	Nitrogen	67,11%	Li J, Dong K, Bai S, Fan Y, Feng Y, Liang M, Wang D. Efficacy of Nitrogen and Phosphorus Removal and Microbial Characterization of Combined A ² O-MBBR Constructed Wetlands. <i>Water</i> . 2023; 15(19):3520.
	TSS	78,95%	Apema, F. D., Rahayu, D. E., & Fahrizal Adnan, W. (2023). Penggunaan Media Sarang Tawon dan Bioball Pada Biofilter Aerob Pada Pengolahan Limbah Cair Laundry
Adsorpsi	Warna	20-90%	Droste, Ronald L, 1997 hal 225
Clarifier	BOD	30-50%	Huisman (2004), Sedimentation and Flotation, hal 12
	TSS	35-95%	Metcalf and Eddy, Waste Water Engineering Treatment and Reuse 4 th , 2003, Halaman 497