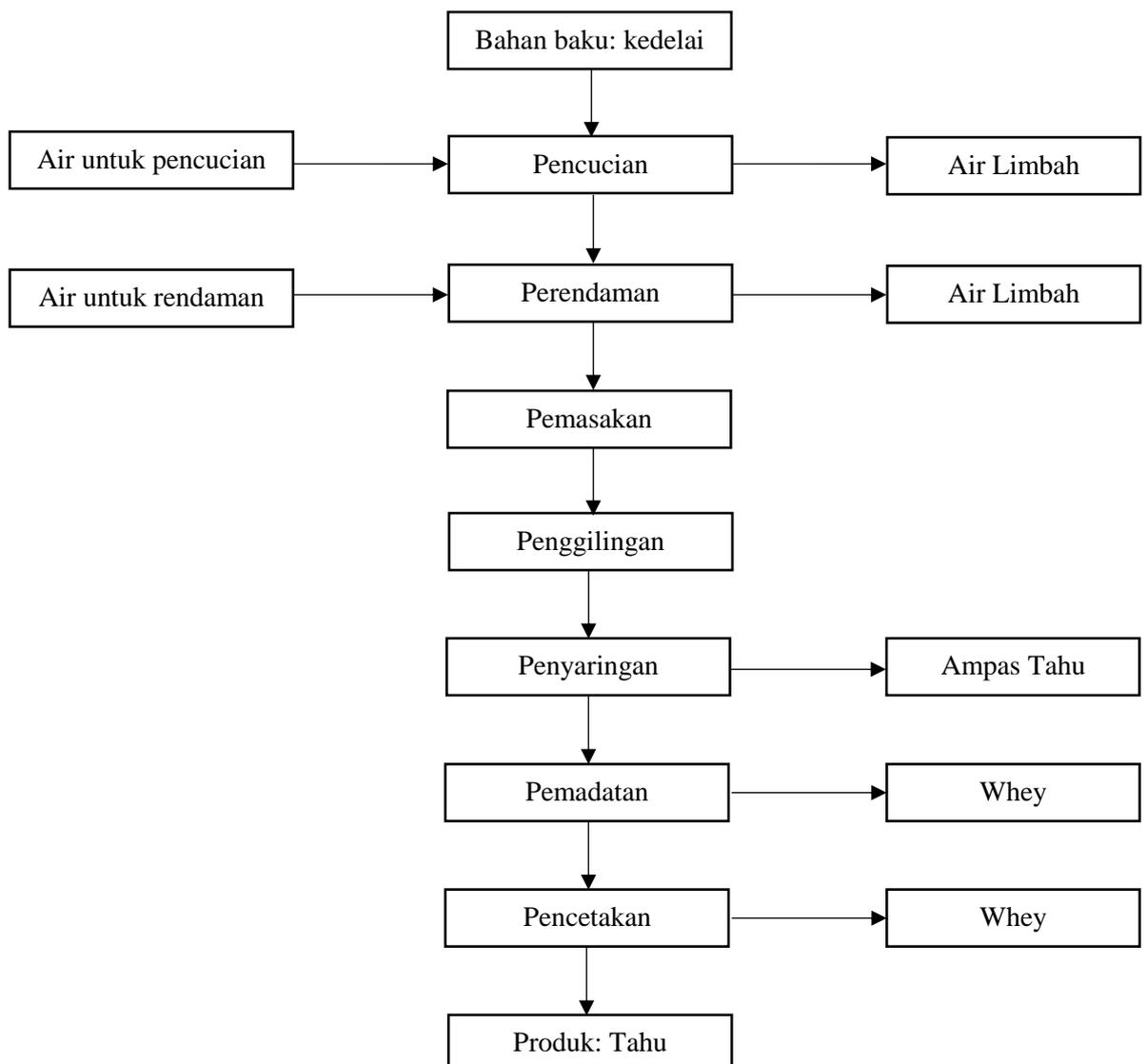


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Industri Tahu

Industri pembuatan tahu menghasilkan air limbah antara 15-20L/kg bahan baku kedelai, dengan beban pencemar sebesar kurang lebih 30kg *Total Suspended Solids* (TSS)/kg bahan baku kedelai, *Biological Oxygen Demand* (BOD) 65 gr/kg bahan baku kedelai dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) 130 gr/kg bahan baku kedelai (Potter dkk., 1994 dalam Nurhayati, 2011). Limbah tahu pada proses pembuatan tahu terbentuk pada proses pencucian kedelai, perendaman, penyaringan, penggumpalan, dan pencetakan/pengerasan seperti yang tertera pada skema pembuatan tahu di bawah ini:



Sumber: Setiawan, Rusdijjati (2014)

Gambar 2. 1 Skema Pembuatan Tahu

2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Menurut Peraturan Pemerintah No.101 tahun 2014, Limbah merupakan residu atau buangan dari aktivitas komersial (usaha) dan kegiatan manusia. Limbah dihasilkan dari kegiatan manusia secara individu atau kelompok, misalnya dari kegiatan industri, dimana residu dihasilkan dalam proses produksi, tidak seperti sampah yang banyak ditemui dari produk sisa aktivitas manusia sehari-hari atau proses alam dalam bentuk padat.

Parameter utama limbah industri tahu yang dapat diolah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan menurut Peraturan Gubernur Jatim No.72 Tahun 2013 dan PermenLH No.5 Tahun 2014 yaitu BOD, COD, TSS, DO, NH₃ Phosphat, dan pH air limbah. Tujuh parameter tersebut harus diolah dengan unit yang dirancang agar sesuai dengan baku mutu.

2.2.1 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah parameter ukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk menguraikan hampir semua bahan organik terlarut dan tersuspensi dalam air limbah. Penguraian bahan organik mengacu pada kebutuhan bahan organik sebagai makanan dan energi selama proses oksidasi oleh organisme. BOD digunakan untuk mengukur besaran karbon organik yang dapat diuraikan secara biologis. Dalam hal ini, BOD diukur dengan menggunakan pendekatan periode 5 (lima) hari atau disebut juga dengan BOD₅. Waktu 5 hari mempresentasikan sebagian dari total BOD. Selama 5 hari, mikroorganisme secara alami dapat menguraikan 70% material organik (Perry, 1998).

BOD₅ dinilai lebih representatif untuk menggambarkan fenomena oksidasi materi organik dalam air limbah karena dalam kondisi tertentu air limbah domestik dapat mengandung senyawa nitrogen organik, amonia, dan nitrit yang berpotensi membutuhkan oksigen untuk teroksidasi menjadi nitrat. Reaksi ini dapat terjadi pada hari ke-6. BOD₅ juga telah menjadi metode yang disetujui dan diterapkan oleh

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) dalam pemantauan kualitas air limbah domestik (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan PermenLH No.5 Tahun 2014 menetapkan Kandungan BOD sebesar 150mg/L.

2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan supaya bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Metcalf & Eddy et al., 2007). Jika konsentrasi senyawa organik dan anorganik cukup tinggi, oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol, yang berarti tanaman air, ikan, dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak dapat hidup. Nilai COD selalu lebih tinggi dari BOD akhir, walaupun kedua nilai tersebut bisa saja sama, namun hal ini sangat jarang terjadi. Hal ini dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit dioksidasi secara biologis, misalnya lignin yang hanya dapat dioksidasi secara kimiawi, zat anorganik yang dioksidasi oleh dikromat akan meningkatkan kandungan organik, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang diperlukan untuk pengujian BOD, nilai COD tinggi ini mungkin karena zat anorganik bereaksi dengan dikromat (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan PermenLH No.5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 300mg/L, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100mg/L.

2.2.3 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sulit mengendap, tersuspensi dan tidak larut dalam air. Padatan TSS sulit mengendap karena muatan elektrostatik dan gerak Brown, sehingga stabil dalam air. Padatan tersuspensi berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan menggambarkan sifat optik air, yang ditentukan oleh jumlah cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan di dalam air.

Padatan tersuspensi yang termasuk dalam parameter TSS adalah senyawa padat yang tersuspensi dalam air. Padatan ini dapat berasal dari mineral seperti pasir yang sangat halus, lumpur, tanah liat, atau asam sulfat organik yang

dihasilkan oleh dekomposisi tumbuhan atau hewan yang mati. Selain itu, padatan tersuspensi tersebut dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus dan lain-lain. Semua elemen ini biasanya menyebabkan air menjadi keruh atau berubah warna (Nusa Idaman Said, 2017). Kandungan TSS yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan PermenLH No.5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 100mg/L.

2.2.4 Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut merupakan jumlah miligram gas oksigen yang terlarut dalam air yang dipengaruhi oleh tekanan atmosfer, suhu, salinitas, turbulensi air, aktivitas fotosintesis, respirasi dan limbah yang masuk ke badan air (Madyawan, Hendrawan, & Suteja, 2020). DO, atau konsentrasi oksigen terlarut, mempengaruhi proses respirasi mikroorganisme aerob. Jumlah oksigen terlarut dalam air tergantung pada suhu, tekanan parsial gas di atmosfer, kelarutan gas dalam air dan konsentrasi kotoran di dalam air.

Oksigen terlarut adalah kebalikan dari konsentrasi BOD. Semakin tinggi konsentrasi BOD, semakin rendah nilai DO. Kandungan DO air sangat mempengaruhi fisiologi mikroorganisme. Ketika konsentrasi DO dalam air menurun, hal itu menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme menjadi lambat (Isdarmawan, 2005). Adanya oksigen di dalam air membuat mikroorganisme lebih aktif dalam mengurai bahan organik di dalam air. DO berperan dalam meningkatkan aktivitas bakteri nitrifikasi dalam mengoksidasi nitrogen organik dan amonia pada proses nitrifikasi (Liu et al., 2008). Kandungan DO yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.22 Tahun 2021 adalah sebesar 4mg/L untuk air sungai kelas 2.

2.2.5 Amonia (NH₃)

Nitrogen merupakan salah satu nutrisi terpenting dalam air limbah karena berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme. Nitrogen berperan dalam proses sintesis protein, sehingga kadar nitrogen dapat digunakan untuk menilai apakah air limbah dapat diolah secara biologis atau tidak. Jumlah nitrogen di atmosfer, yang sebagian besar adalah 78% gas nitrogen, sangat terbatas nutriennya di lingkungan

perairan dan area pertanian. Secara umum, makhluk hidup tidak dapat menggunakan gas nitrogen ini secara langsung, tetapi beberapa organisme khusus dapat mengubahnya menjadi nitrogen organik, dan proses yang berlangsung disebut fiksasi. Di lingkungan perairan, berbagai bakteri dan alga dapat memperbaiki nitrogen terlarut. Nitrogen organik yang disintesis oleh tumbuhan dan alga merupakan sumber nitrogen bagi hewan. Hewan melepaskan nitrogen dalam metabolisemenya sebagai senyawa, yang kemudian termineralisasi oleh mikroorganisme dan nitrogen dilepaskan sebagai amonia. Proses yang sama terjadi ketika tumbuhan dan hewan mati dan terdekomposisi. (Latar, 2015)

Salah satu bentuk nitrogen di perairan adalah amonia. Amonia nitrogen yang terdapat di perairan dijumpai dalam bentuk ion ammonium (NH_4^+) atau gas ammonia (NH_3). Kondisi tersebut bergantung dengan kondisi pH. Pada pH dibawah 7, amonia nitrogen lebih dominan dalam bentuk ion ammonium (NH_4^+). Grafik distribusi jumlah gas amonia (NH_3) dan ion ammonium (NH_4^+) (Metcalf dan Eddy, 2003).

2.2.7 pH

pH atau keasaman digunakan untuk mengukur tingkat asam atau basa dalam suatu larutan. Konsentrasi ion hidrogen (pH) dapat diartikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen, yaitu sebagai berikut:

$$pH = -\text{Log}_{10}[H^+]$$

Mikroorganisme dalam pengolahan limbah secara optimal dapat hidup pada tingkat keasaman netral (pH) antara 6 dan 9. Limbah dengan tingkat keasaman tinggi (pH) sulit untuk diolah secara biologis, sehingga harus diolah terlebih dahulu di unit pengolahan tertentu (Metcalf dan Eddy, 2003). pH netral yang diizinkan dalam baku mutu baik PermenLH No.5 Tahun 2014 maupun oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 yaitu sebesar 6 sampai 9. Umumnya pada air limbah industri tahu, pH berkisar antara 3,5 hingga 5 yang berarti limbah cair industri tahu bersifat asam dan diperlukan pengolahan berupa netralisasi pH maupun pengolahan lainnya yang sesuai

2.2.6 Phosphat

Penting untuk menganalisis dan menghilangkan kandungan fosfat dari limbah industri dan domestik, karena senyawa fosfat menyebabkan pencemaran pada badan air dan fenomena berupa eutrofikasi. Fosfat dalam air mendukung pertumbuhan mikroorganisme seperti plankton (termasuk fitoplankton dan zooplankton). Keberadaan mikroorganisme seperti plankton mempengaruhi kualitas air permukaan. Sebagai contoh, ganggang dan ganggang biru-hijau membutuhkan kandungan fosfat dan nitrogen untuk tumbuh dan berkembang dalam air dan dapat menyebabkan ledakan alga karena ketidakstabilan parameter nitrat dan fosfat dalam air (Sawyer, 2003).

Konsentrasi fosfat dalam air limbah dapat dikurangi secara kimiawi atau biologis. Teknologi kimia dianggap kurang efisien karena menambah jumlah lumpur yang dihasilkan dan membutuhkan biaya tambahan, serta dikhawatirkan akan menyebabkan pencemaran logam berat pada sistem pembuangan limbah dan meningkatkan salinitas limbah. Pilihan lain adalah dengan menggunakan agen biologis, yaitu penggunaan aktivitas mikroba yang dapat menurunkan kadar fosfat. Tingkat fosfat dapat dikurangi dengan mekanisme pengolahan biologis yang melibatkan organisme pengumpul polifosfat (PAO). PAO mengkonsumsi fosfor untuk membentuk komponen seluler dan mengakumulasi polifosfat dalam jumlah besar di dalam selnya (Sawyer, 2003).

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Pengolahan air buangan industri ini bertujuan untuk mengurangi parameter pencemar yang lebih dari baku mutu yang ditetapkan. Diantaranya adalah BOD, COD, TSS, dan pH. Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok/tingkatan pengolahan yaitu:

- a. Pengolahan Pendahuluan (Pre-Treatment)
- b. Pengolahan Primer (Primary Treatment)
- c. Pengolahan Sekunder (Secondary Treatment)
- d. Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

2.3.1 Pengolahan Pendahuluan (Pre-Treatment)

Tahapan awal dalam proses pengolahan air limbah yaitu pengolahan pendahuluan yang berfungsi untuk menghilangkan pengotor tertentu maupun menstabilkan air limbah agar dapat diterima di unit pengolahan selanjutnya. Unit pengolahan pendahuluan secara umum dalam pengolahan pendahuluan atau pre-treatment 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 (m²)

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

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

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m),

freeboard = 20% dari ketinggian total

- Cek Kecepatan (Rumus Manning)

$$V = \frac{1.49 R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Keterangan:

n = Koefisien manning

R = Jari-jari hidraulik

S = Slope (Kemiringan dasar saluran)

- Cek waktu tinggal maksimum saluran pembawa (T_d)

$$T_d = \frac{Q_{total} \text{ saluran}}{Q}$$

Keterangan: Q = debit

T_d = waktu detensi

- Jari-jari Hidrolis

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

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 Keterangan:

Hf = headloss saluran (m)

L = panjang saluran (m)

b. Unit Screening

Screening atau biasa disebut dengan bar screen digunakan dalam pengolahan air baik 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).

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	U.S Customary Units		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

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

- Tinggi bar screen

$$\text{Tinggi bar screen} = H_{\text{Saluran}} + (\text{fb} \times H_{\text{Saluran}})$$

Keterangan: H = tinggi Fb = freeboar

- 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 (wc)

$$wc = ws - (n \times d)$$

Keterangan:

wc = 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)

$$P = \gamma / \sin \alpha$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (x)

$$x = P \cdot \cos \alpha$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

- Kecepatan Melalui Kisi (V_i)

$$V_i = Q/wc \times h$$

Q = debit inlet air limbah

wc = lebar bukaan screen

h = tinggi muka air

- Headloss pada Bar Screen

- Saat non-clogging

$H_f = 1 C \times (V_i^2 - V^2 \times g)$, C merupakan koefisien pada saat tidak clogging yaitu 0,7

- Saat clogging

$H_f = 1 C_c \times (V_i^2 - V^2 \times g)$, C_c merupakan koefisien pada saat clogging yaitu 0,6

c. Unit 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: (1) pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena shock loading rate mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan; (2) kualitas efluen dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan; (3) kebutuhan luas permukaan

dalam unit filtrasi dapat dikurangi, kinerja filter ditingkatkan, dan siklus backwash pada filter yang lebih seragam dimungkinkan dilakukan dengan muatan hidrolis yang lebih rendah (efisiensi penggunaan); (4) dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya. Namun unit bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya adalah: (1) memerlukan area/lokasi yang cukup luas; (2) mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal; (3) memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat (Metcalf & Eddy et al., 2007).

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

- Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- 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 rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak penampung antara lain:

- Waktu Tinggal (Td)

$$T_d = V \times Q$$

Keterangan:

V = volume bak pengumpul (m³)

Q = debit air limbah yang dipompa (m³ /detik)

- Kecepatan Aliran (A)

$$A \times H$$

Keterangan:

A = luas permukaan bak pengumpul (m²)

H = kedalaman air (m)

- Dimensi Bak Penampung
 $V = P \times L \times H$
 Keterangan:
 $V =$ volume bak (m³)
 $P =$ panjang bak (m), dengan $2 \times L$
 $L =$ lebar bak (m)
 $H =$ ketinggian bak pengumpul (m)
- Kedalaman total (HTotal)
 $HTotal = H + (fb \times H) + H$ ruang lumpur
 Keterangan: Fb = freeboard
- Jari-jari hidrolis
 $R = w \times H \text{ w } \times 2H$
 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
 - Luas penampang pipa pompa
 $A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$
 Keterangan:
 $A =$ luas bak
 $d =$ diameter pip
 - Kecepatan aliran dalam pipa pompa outlet
 $V = Q/A$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

- Headloss
 - Headloss Mayor (Hf Mayor) $H_f \text{ mayor} = 10,7 \times Q^{1,85} \times D^{4,87} \times L$
 - Headloss Minor (Hf Minor) $H_f \text{ minor} = k_1 \cdot v^2 / 2g + (n \times k_2 \cdot v^2 / 2g)$
 - Headloss total = $H_a + H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$

2.3.2 Pengolahan Primer (Primary Treatment)

Pengolahan primer bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel padat organik dan anorganik melalui proses fisika, yaitu sedimentasi atau flotasi. Partikel padat organik akan dibuat mengendap (*sludge*) sedangkan minyak dan lemak akan berada di atas permukaan (*grease*). Instalasi pada tahap pengolahan primer diantaranya adalah sedimentasi primer dan flotasi.

a. Koagulasi Flokulasi

Koagulasi-Flokulasi bertujuan untuk menyatukan partikel koloid sehingga membentuk partikel ukuran lebih besar yang selanjutnya dapat dipisahkan dengan cara yang lebih efisien melalui sedimentasi, flotasi, atau penyaringan dengan menambahkan bahan koagulan (Wang dkk, 2016).

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 mendestabilisasi muatan negatif partikel (Mayasari, 2018).

Tabel 2. 3 Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
<i>Alumunium Sulfat</i>	$Al_2(SO_4)_3 \cdot x H_2O$ X = 14, 16, 18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
<i>Sodium Aluminat</i>	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8

<i>Poly Aluminium Chloride (PAC)</i>	$Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$	Cairan, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
<i>Ferri Sulfat</i>	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal halus	Asam	4 – 9
<i>Ferri Klorida</i>	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4 – 9
<i>Ferro Sulfat</i>	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kristal halus	Asam	> 8,5

(Sumber= Sugiarto, 2006)

Tabel 2. 4 Karakteristik Koagulan

Koagulasi	Pengendapan flok	pH ekstrim	Dosis optimum (kg/jam)		Kadar Al_2O_3	Kejernihan air olahan
			(kg/jam)	ppm	(%)	
Alum	Lebih lambat	Terjadi	14,4	40	> 8.0	Tidak sejernih PAC
PAC	Cepat	Tidak Terjadi	3,6	10	min 30	Jernih

(Sumber= Kep Menkes RI no 907/Menkes/SK/VII/2002)

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. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulan yaitu:

1. Pengaruh pH. Koagulan memiliki *range* pH optimum. Luasnya *range* pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 7 (netral).

2. Pengaruh temperatur. Temperatur rendah akan terjadi reaksi yang lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.
3. Dosis koagulan
4. Air dengan kekeruhan yang tinggi memerlukan dosis koagulan yang lebih banyak. Apabila tidak sesuai, maka kemungkinan tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflokk yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan juga akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.
5. Pengadukan (*mixing*). Pengadukan diperlukan agar tumbukan antara partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukandengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.
6. Pengaruh garam. Garam tersebut dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda-beda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion akan semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibandingkan dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Sutrisno, 1992).

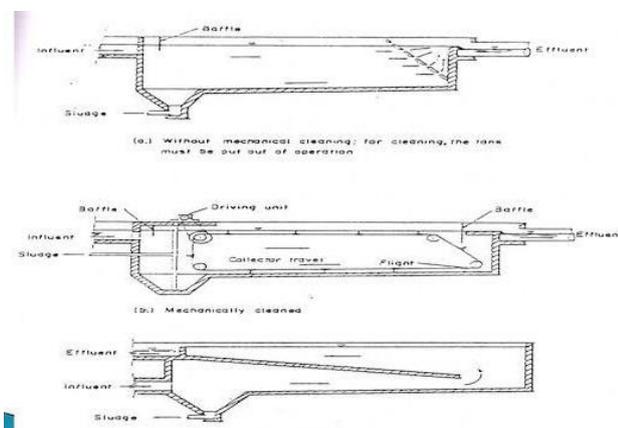
Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu= pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatis. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, proses pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling). Bentuk ketiga *impeller* dapat dilihat pada gambar 2.19, gambar 2.20, dan gambar 2.21. Kriteria *impeller* dapat dilihat pada tabel 2.8. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td. Tabel 2.9 dapat dijadikan acuan untuk menentukan G dan td. Sedangkan untuk menghitung

besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperlihatkan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta KL dan KT.

b. Unit Sedimentasi Primer (*Primary Sedimentation*)

Unit sedimentasi primer memiliki tujuan untuk menghilangkan zat padat yang tersuspensi. Partikel tertentu, seperti padatan limbah kertas, tekstil, pulp, atau omestik akan menggumpal pada saat partikel tersebut menuju dasar tangki sedimentasi, sehingga memengaruhi laju pengendapan. Tujuan utama dari sedimentasi primer adalah untuk menghilangkan settleable solid dan material yang mudah mengambang, dengan demikian akan mengurangi kandungan padatan tersuspensi pada air limbah. Sedimentasi primer digunakan sebagai Langkah awal dalam pengolahan lebih lanjut dari air limbah. Rancangan dan pengoperasian yang efisien dari tangki sedimentasi primer harus menghilangkan 50 hingga 70 persen padatan tersuspensi dan 25 hingga 40 persen BOD (Reynolds & Richards, 1996).

Tangki sedimentasi juga telah digunakan sebagai tangki retensi, dirancang untuk memberikan waktu detensi sedang (10 sampai 30 menit) untuk overflow air limbah. Efisiensi bak sedimentasi dalam penghilangan parameter BOD dan TSS dipengaruhi oleh: (1) jenis aliran yang masuk ke dalam tangki sedimentasi; (2) ukuran partikel, bentuk partikel, dan konsentrasi partikel; (3) viskositas air limbah pada saat masuk ke dalam bak sedimentasi; (4) temperatur air limbah dan lingkungan (Metcalf & Eddy et al., 2007). Unit pengolahan ini memiliki efisiensi penyisihan berkisar 50-70% untuk TSS (Qasim & Zhu, 2017) dan 25-40% BOD5 (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2. 2 Unit Sedimentasi

Terdapat 3 (tiga) unit pengendap/sedimentasi yang biasa digunakan dalam pengolahan air, antara lain:

1. Horizontal flow (aliran horizontal), umumnya dalam bentuk persegi panjang
2. Radial flow (aliran radial), yaitu bak sirkular, air mengalir dari tengah menuju pinggir
3. Upward flow (aliran ke atas), yaitu aliran dari bawah ke atas, biasanya dalam bak berbentuk kerucut yang menghadap ke atas.

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak pengendap pertama. Adapun komponen pendukung yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan, yakni: (a.) Skimmer, berfungsi untuk menyisahkan minyak dan lemak yang mengapung di atas permukaan. Terdapat pula saluran khusus yang menampung minyak dan lemak untuk selanjutnya dibuang, (b.) Scrapper sludge, berfungsi untuk mengumpulkan lumpur di dasar bak pengendapan menuju ke titik pembuangan baik menggunakan pompa maupun manual secara gravitasi (jika memungkinkan), (c.) Pompa lumpur, berfungsi untuk memompa keluar lumpur menuju ke pengolahan lumpur, (d.) Weir atau pelimpah, berfungsi untuk mengalirkan air permukaan atau overflow yang merupakan air yang telah mengalami proses sedimentasi. Adapun perhitungan dari bak sedimentasi primer adalah sama seperti dengan bak sedimentasi awal. kriteria desain perencanaan dari bak sedimentasi yang harus dipenuhi menurut standar internasional antara lain (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

Tabel 2. 5 Kriteria Desain Bak Sedimentasi

No	Parameter	Simbol	Satuan	Besaran	Sumber
1.	Overflow rate: Debit rata-rata Debit Puncak	QR	30-50 70-130	m ³ /m ² .hari	(Qasim & Zhu, 2017)
2.	Waktu Detensi	td	1-2 1,5-2,5	Jam	

3.	Beban Permukaan	-	124-496	m ³ /m ² .hari	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Dimensi Bak Sedimentasi					
4.	Bentuk Kotak (Rectangular)				
	Panjang	P	10-100	m	(Qasim & Zhu, 2017)
	Lebar	l	6-24	m	
	Kedalaman	h	2,5-5	m	
	Rasio P dan L	-	1-7,5D		
	Rasio P dan T	-	4-2-25		
5.	Bentuk Lingkaran (Circular)				
	Diameter	d	3-60	m	(Metcalf & Eddy et al., 7. 2007)
	Kedalaman	h	3-6	m	
6.	Penyisihan TSS	-	50-70	%	
7.	Penyisihan BOD	-	50-80	%	
8.	Kemiringan Dasar	Slope (S)	1-2	%	(Qasim & Zhu, 2017)

Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018 Halaman 41

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak pengendap (clarifier) antara lain:

Zona Settling Sedimentasi

- Qin pada bak sedimentasi 2

$$Q_{in} = Q_o + Q_r$$

- Luas Surface Area (A)

$$A = \frac{Q_{in}}{OFR}$$

Keterangan:

Q = Debit air limbah (m³ /hari)

OR = Overflow rate/hari (m³ /m² .hari)

- Diameter (D)

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

Keterangan:

D = diameter

A = luas zona

- Cek luas Surface Area

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

- Kedalaman bak (H)

$$H = \frac{Q_{in} \times t_d}{A}$$

Keterangan:

Q_{in} = debit awal

T_d = waktu detensi

A = luas zona

Cek overflow rate

- OFR = $\frac{Q_{in}}{A}$

Keterangan:

Q_{in} = debit awal

A = luas zona

- Volume bak

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

Keterangan: D = diameter H = tinggi zona

- Cek waktu tinggal (T_d)

$$T_d = \frac{Vol}{Q_{in}}$$

Keterangan:

Vol = volume

Q_{in} = debit awal

- Kecepatan pengendapan partikel (V_s)

$$V_s = \frac{H}{t_d}$$

Keterangan:

H = tinggi zona

Td = waktu detensi

- Diameter partikel

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \times 18 \times v}{g (S_g - 1)}}$$

- Cek bilangan NRe untuk Vs

$$N_{re} = \frac{\rho_s \times D_p \times v_s}{\mu}$$

- Kecepatan horizontal di bak (Vh)

$$V_h = \frac{Q_{in}}{\pi \times D \times H}$$

Keterangan:

Qin= debit awal

D = diameter bak

H = tinggi bak

- Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{r \times H}{r + 2 \times H}$$

Keterangan:

r = jari-jari bak

H = tinggi bak

- Cek bilangan Froude (NFr)

$$N_{fr} = \frac{v_h}{\sqrt{g \times H}}$$

Keterangan:

Vh = kecepatan horizontal

H = tinggi bak

g = gravitasi

- Cek bilangan Reynold (NRe)

$$N_{re} = \frac{V_h \times r}{\nu}$$

Vh = kecepatan horizontal

R = viskositas kinematic

v = kecepatan aliran

- Cek kecepatan penggerusan (vsc)

$$V_s = \sqrt{\frac{8 \times 0,06 \times (1,25-1) \times 9,81 \frac{m}{ms^2} \times 3,71 \times 10^{-4}}{0,03}}$$

Zona Inlet Sedimentasi

- Diameter inlet well (D')

$$D' = 20\% \text{ Diameter Bak}$$

- Perhitungan pipa inlet

$$A = Q/V$$

- Diameter pipa inlet

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

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran

A = luas bak

- Cek kecepatan pipa inlet

$$V = Q/A$$

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran

A = luas bak

Zona Thickening Sedimentasi

- Total massa solid dalam bak biofilter anaerobik-aerobik

$$\text{Massa solid total} = \text{MLVSS} \times \text{Volume lumpur Biofilter}$$

- Total massa solid bak sedimentasi akhir (clarifier)

P = %Biological yang tetap dalam biofilter anaerobik-aerobik Massa solid

$$\text{total} = P \times \text{Total massa solid pada bak biofilter}$$

- Kedalaman zona thickening

$$H = \frac{M_{\text{solid total}}}{\rho \times A}$$

- Zona Sludge Sedimentasi

Total lumpur yang terkumpul (TL)

$$TL = P \times \text{Waktu Pengurasan}$$

- Total berat lumpur pada bak (TLM)

$$TLM = TL + M.Solid\ total$$

Keterangan:

TL = total lumpur yang terkumpul

- Volume lumpur pada bak (VL)

$$VL = \frac{TLM}{\rho S}$$

Keterangan:

TLM = total berat lumpur pada bak

- Debit lumpur (QL)

$$QL = \frac{VL}{waktu\ pengurasan}$$

Keterangan:

VL = volume lumpur

- Volume air

$$Vol.\ Air = 95\% \times VL$$

Keterangan:

VL = volume lumpur

- Berat air

$$Berat\ air = Vol.air \times Berat\ jenis\ air$$

- Volume solid

$$Vol.Solid = 5\% \times VL$$

Keterangan:

VL = volume lumpur

- Berat solid

$$Berat\ solid = Vol.Solid \times Berat\ jenis\ solid$$

- Dimensi ruang lumpur

$$Volume = \frac{1}{3} \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + Rr)$$

- Kedalaman total sedimentasi (clarifier)

$$H\ Total = HSettling + HThickening + HSludge$$

Perhitungan Headloss Pompa

- Perhitungan Suction

Headloss mayor:

$$H_f = \frac{10,7 \times L \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}}$$

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

Headloss minor:

$$H_{\text{minor}} = n \times k \times \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Perhitungan Discharge

Headloss mayor:

$$H_f = \frac{10,7 \times L \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}}$$

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

Headloss minor:

$$H_{\text{minor}} = n \times k \times \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Perhitungan Head Total Pompa

H = H_f suction total + H_f discharge total

Perhitungan head total

$H_{\text{total}} = \text{Head statis} + \Sigma H_f \text{ suction} + \Sigma H_f \text{ discharge}$

Zona Outlet Sedimentasi

- Panjang keliling weir

$P = \pi \times \text{diameter bak}$

- Jumlah V Notch setiap pelimpahan (weir)

$n \text{ Notch} = \text{Panjang keliling/jarak antar V notch}$

- Tinggi pelimpah setelah melalui V-notch

$Q \text{ v notch} = \frac{8}{15} \times c_d \times \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{a}{2} \times H^{5/2}$

- Luas permukaan saluran pelimpah

$A = Q_{\text{in}}/v$

Keterangan:

Q_{in} = debit awal

v = kecepatan saluran

- Dimensi saluran pelimpah

$A = 2H \times H$

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

$B = 2 \times H$

Keterangan:

H = tinggi saluran

Pipa Outlet Sedimentasi

- Luas penampang pipa

$A = Q/v$

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran pipa

- Diameter pipa outlet

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

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran

A = luas bak

- Cek kecepatan pipa outlet

$$V = Q/A$$

Keterangan:

Q = debit air

A = luas penampang pipa

- Headloss mayor (Hf mayor)

Headloss mayor:

$$H_{f\text{mayor}} (H_f) = \frac{10,7 \times L \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}}$$

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

- Headloss minor (Hf minor)

$$H_{\text{minor}} = n \times k \times \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Headloss total (Hf total)

$$H_f \text{ total} = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$$

c. Unit Netralisasi pH

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda di antara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas bufer yang terjadi karena ada produk CO₂ dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam. Terdapat beberapa cara

menetralisasi kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti (Reynolds & Richards, 1996):

1. Pencampuran limbah asam dengan basa dengan komposisi yang sesuai
2. Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur
3. Penambahan NaOH, Na₂CO₃, atau NH₄OH ke limbah asam
4. Penambahan asam kuat (H₂SO₄, HCl) ke dalam limbah basa
5. Pembangkitan CO₂ dalam limbah basa

Adapun agen netralisasi yang bisa digunakan untuk proses netralisasi secara umum beserta klasifikasinya adalah sebagai berikut=

1. Senyawa Basa
 - a. Lime dalam bentuk apapun (Senyawa Basa Kuat)
 - b. Natrium Hidroksida (NaOH) (Senyawa Basa Kuat)
 - c. Magnesium Hidroksida (Mg(OH)₂) (Senyawa Basa Sedang)
 - d. Natrium Karbonat (Na₂CO₃) (Senyawa Basa Lemah)
 - e. Natrium Bikarbonat (NaHCO₃) (Senyawa Basa Lemah)
2. Senyawa Asam
 - a. Asam Sulfat (H₂SO₄) (Senyawa Asam Kuat)
 - b. Karbon Dioksida (CO₂) (Senyawa Asam Lemah)

Dalam proses netralisasi, terdapat dua sistem yang akan digunakan dalam menjalankan prosesnya. Sistem-sistem tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Sistem batch biasa digunakan pada air yang memiliki debit lebih kecil dari 380 m³/hari.

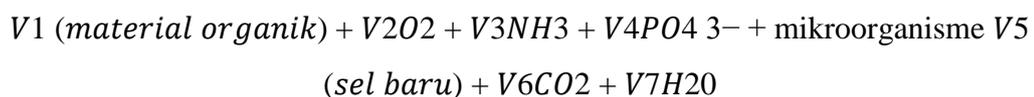
Sistem continue membutuhkan pengaturan tingkat keasaman. Apabila udara diperlukan untuk proses pengadukan, maka aliran udara minimum yang dibutuhkan berkisar antara 1 – 3 ft³/mm.ft² atau 0,3 – 0,9 m³/mm.m² dengan kedalaman 9 ft (2,7 m). Apabila sistem pengadukan dilakukan secara mekanis, maka daya yang dibutuhkan berkisar antara 0,2 – 0,4 hp/ribu.gal (0,04 – 0,08 kW/m³) (W. Eckenfelder, 2000).

2.3.3 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; (1) mengubah (mengoksidasi) konstituen biodegradable terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima; (2) menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan nonsettleable menjadi flok biologis atau biofilm; (3) mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan fosfor (P), dan (5) menghilangkan konstituen dan senyawa kecil organik tertentu (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. Persamaan dari proses tersebut adalah sebagai berikut:



Pada persamaan (2.1), oksigen (O₂), amonia (NH₃), dan fosfat (PO₄³⁻) digunakan untuk mewakili nutrisi yang dibutuhkan untuk konversi dari bahan organik untuk produk akhir yang sederhana yaitu karbon dioksida (CO₂) dan air. Mikroorganisme juga digunakan untuk menghilangkan nitrogen dan fosfor dalam proses pengolahan air limbah. Bakteri tertentu mampu mengoksidasi amonia (nitrifikasi) menjadi nitrit dan nitrat, sementara bakteri lainnya dapat mengurangi nitrogen teroksidasi menjadi gas nitrogen. Untuk penghilangan fosfor, proses biologis dikonfigurasi untuk mendorong pertumbuhan bakteri dengan kemampuan untuk mengambil dan menyimpan sejumlah besar fosfor anorganik.

Biomassa memiliki berat jenis 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 organik akan dihapus secara periodik, pengolahan lengkap belum dicapai karena biomassa, yang merupakan organik, akan diukur sebagai BOD dalam efluen. Biomassa akan dihilangkan pada sistem sedimentasi sekunder yaitu sedimentasi setelah pengolahan biologis terjadi.

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

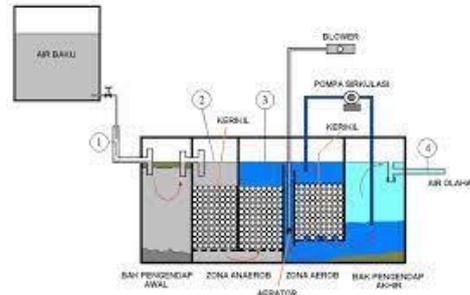
1. Efisiensi pengolahan, ditujukan agar unit yang dirancang mampu mengolah air limbah hingga memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.
2. Aspek teknis, dari segi konstruksi menyangkut teknis pelaksanaan seperti ketersediaan tenaga ahli, kemudahan mendapatkan material konstruksi, instalasi bangunan,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

Adapun beberapa contoh unit pengolahan sekunder yang digunakan adalah aerobik dan anaerobik filter dengan penjelasan sebagai berikut:

a. Biofilter Anaerobik-Aerobik

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor 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 amonia. Menurut Casey (2006) dalam Pamungkas (2017), pengolahan air limbah dengan sistem aerobik dan anaerobik menggunakan biofilter memiliki kesamaan konsep dengan trickling filter. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan keberadaan oksigen

untuk mendegradasi bahan-bahan organik, sedangkan pada biofilter anaerobik, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).



Gambar 2. 3 Skema kerja dan media biofilter aerobik dalam tangki

Dalam pengolahan aerobik-anaerobik menggunakan aerobik biofilter atau trickling filter memanfaatkan teknologi biofilm yang membutuhkan media tumbuh organisme dari materi yang kasar, keras, tajam dan kedap air. Menurut Nusa Idaman Said (2005), Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menerapkan unit pengolahan aerobik ini, antara lain (Said, 2005):

1. 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.
2. Diameter media. Diameter media aerobik biofilter biasanya antara 2,5-3,0. 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.
3. Ketebalan susunan media, ketebalan media aerobik biofilter minimum adalah 1 meter maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka makin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme.
4. pH, pertumbuhan mikroorganisme khususnya bakteri dipengaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik, diusahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH antara 4-9,5, dengan pH yang optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman.

5. Suhu/temperatur. Suhu yang baik untuk mikroorganismenya adalah 25-37°C. Selain itu, suhu juga mempengaruhi suatu kecepatan dari suatu proses biologis.

Adapun kelebihan dan kekurangan dari sistem biofilter aerobik ini antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.9 Kelebihan dan Kekurangan Unit Biofilter

Kelebihan	Kekurangan
Mampu menghilangkan konsentrasi BOD, COD, dan parameter organik lain dengan efektivitas yang tinggi.	Sangat efektif apabila dirancang dengan menggunakan sistem upflow
Mampu menghilangkan/mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi (TSS), deterjen, amonium, dan fosfor	Mebutuhkan 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)

Media filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk

pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraiannya. Sebuah media filter yang baik memiliki 90- 300 m² luas permukaan setiap m³ volume reaktor. Permukaan yang kasar memiliki luas area yang lebih besar, paling tidak pada fase awal. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Berdasarkan penelitian oleh Said (2005), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada tabel berikut (Said, 2005):

Tabel 2.10 Perbandingan luas permukaan spesifik media biofilter

No	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m ² /m ³)
1.	Trickling filter dengan batu pecah	100-200
2.	Modul Honeycomb (sarang tawon)	150-240
3.	Tipe Jaring	50
4.	RBC	80-150

Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 292

Menurut Reuter (2009), baik biofilter anaerobik dan aerobik memiliki kriteria desain sebagai berikut (Reuter et al., 2009):

Beban Permukaan = 20-50 m³ /m² .hari

HRT di bak pengendap / tangki septik = 2 jam

HRT di anaerobik Filter = 1,5-2 hari

Penyisihan BOD = 70-90%

Rasio SS/BOD = 0,35-0,45

Luas Spesifik Media = 80-180 m² /m³

Velocity Upflow = < 2 m/jam

Menurut Nusa Idaman Said (2005) kriteria desain lain untuk media biofilter

aerob dan anaerob adalah sebagai berikut (Said, 2005):

- Biofilter Anaerob
 - a. Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam
 - b. Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
 - c. Beban BOD/volume media = 0,5 – 4,0 kg BOD /m³ .hari
 - d. Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m² .hari
 - e. Tinggi bed media pembiakan mikroba = 0,9 – 1,5 m
- Media Biofilter Anaerob
 - a. Tipe = sarang tawon
 - b. Material = PVC Sheet
 - c. Ketebalan = 0,15 – 0,23mm
 - d. Luas kontak spesifik = 150 – 226m² /m³
 - e. Diameter lubang = 3cm x 3cm
 - f. Berat spesifik = 30 – 35 kg/m³
 - g. Porositas rongga = 0,98
- Media Biofilter Aerob
 - f. Tipe = Sarang Tawon
 - g. Material = PVC Sheet
 - h. Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
 - i. Luas Kontak Spesifik = 150 – 226 m² /m³
 - j. Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
 - k. Berat Spesifik = 30 – 35 kg/m³
 - l. Porositas Rongga = 0,98
- Blower Udara
 - a. Densitas udara = 1,2kg/m³
 - b. Berat aliran udara (w) = 85-1700m³ /menit
 - c. Tekanan absolut outlet (P2) = 25lb/in² = 1,7 atm
 - d. Tekanan absolut inlet (P1) = 14,7 lb/in² = 1 atm
 - e. Konstanta Udara = 8,314 kJ/mol.K
 - f. K = 1,395
 - g. N = 0,28

h. Efisiensi = 70-90%

Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 304-311

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

a. Perhitungan Biofilter Anaerobik

- Beban BOD di dalam air limbah

Beban BOD = Debit limbah x BOD inlet

- Volume media yang diperlukan

Volume = Beban BOD air/Beban BOD per volum media

- Volume reaktor yang diperlukan (Rancangan 1 Anaerob-1Aerob)

V.reaktor = 100/60 x V media diperlukan

- Waktu tinggal di dalam reaktor (Td)

$Td = \text{Volume Reaktor} / \text{Debit Air Limbah}$

- Dimensi reactor

V.reaktor = P x L x T

Keterangan:

P = panjang

L = lebar

T = tinggi

- Dimensi Media

V = P x L x T

- BOD Loading per volume media

$\text{BOD Loading} = \frac{\text{BOD loading dalam air limbah}}{\text{Volume media reaktor}}$

- BOD Loading (Jika media memiliki luas spesifik 150m² /m³)

$\text{BOD Loading} = \frac{\text{BOD loading per volume media}}{\text{Luas Spesifik Media}}$

- 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

Beban BOD = Debit air limbah x BOD inlet

- Volume media diperlukan

Volume = Beban BOD air/Beban BOD per volum media

- Volume reaktor diperlukan

V.reaktor = (100/40) x V.media

- Waktu tinggal yang dibutuhkan pada reaktor (Td)

$T_d = \text{Volume Reaktor} / \text{Debit Air Limbah} \times 24 \text{ jam}$

- Dimensi reaktor aerobik biofilter

V.reaktor = P x L x 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

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

- Volume total media biofilter aerobik

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

- BOD loading per volume media

$$\text{BOD Loading} = v_{\text{total}}/v_{\text{media}}$$

- BOD loading (media yang digunakan memiliki luas spesifik 150 m²/m³)

$$\text{BOD Loading} = \text{BOD loading}/150 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

- Kebutuhan udara untuk menghilangkan N dan P

$$\text{Kebutuhan udara} = \frac{\text{kebutuhan udara teoritis}}{\text{berat udara} \times \text{jumlah oksigen}}$$

- Produksi Sludge

$$V. \text{Lumpur} = \frac{\text{beban cod lumpur}}{\text{konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

2.3.4 Sludge Treatment (Pengolahan Lumpur)

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. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena (Metcalf & Eddy et al., 2007):

- a. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab 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 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. Bak Pengering Lumpur (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 2.12. Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

No	Parameter	Nilai	Satuan	Referensi
	Tebal pasir	23-30	Cm	Qasim, 1985

	Tebal keriki	20-30	Cm	
	Sludge loading rate	100-300	Kg/m².tahun	
	Tebal bed	20-30	Cm	
	Lebar bed	5-8	m	
	Panjang bed	6-30	m	
	Waktu pengeringan	10-15	Hari	
	Uniformity coefficient	<4		
	Effective size	0,3-0,75	mm	
	V air dalam inlet	0,75	m/detik	
	V air dalam drain	0,75	m/detik	
	Tebal lumpur	20-300	mm	
	Kecepatan Pipa Underdrain	0,75	m/detik	Metcalf & Eddy 4th Edition., 2003
	Diameter Pipa Underdrain	>100	Mm	
	Koef. Keseragaman	<4	-	
	Ukuran Efektif	0,3-0,785		
	Slope	>1		
	Rasio lebar:panjang	6:6-30		

Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018

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

- Tebal media

Tebal media = tebal pasir + tebal kerikil + tebal cake

- Volume cake sludge

$$V_i = V \text{ lumpur} \times (1-P)/1-P_i$$

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 (m³)

t_d = waktu detensi (detik)

- Volume tiap bed

$$V_b = \frac{V \text{ lumpur total}}{\text{jumlah bed}}$$

Keterangan:

V = Volume bed (m³)

- Dimensi tiap bed

$$V_b = \frac{V_b}{\text{tebal cake}}$$

Keterangan

V_b = volume tiap bed (m³)

L = panjang (m)

W = Lebar (m)

- Kedalaman underdrain

$$H = V_a/A$$

Keterangan:

V_a = volume air

- Kedalaman total

$H = \text{tinggi cake} + \text{tinggi media}$

$H_{\text{total}} = H + F_b$ Keterangan

$H_{\text{total}} = \text{Kedalaman total bak (m)}$

$F_b = \text{Freeboard (10-30\% kedalaman)}$

- Diameter pipa underdrain

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

- Volume air

$V_a = \text{volume cake sludge (Vi)} - \text{volume padatan/jumlah bed} \times t_d$

Keterangan:

$T_d = \text{Waktu detensi}$

2.4 Persen Penyisihan Unit Pengolahan

Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman % penyisihan untuk unit pengolahan beserta keseluruhan parameter dalam air limbah tahu sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air limbah yang telah direncanakan. Berikut rangkuman % penyisihan air limbah tahu beserta sumber yang tertera.

Tabel 2. 6 % Penyisihan Air Limbah Tahu

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
Bak Prasedimentasi	BOD	25-40%	Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat SPALD-T, PUPR, Ditjen Cipta

			Karya, 2018 Halaman 37
	TSS	50-70%	Said, Nusa Idaman. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Hal 305
Biofilter Aerobik	BOD	90-95%	Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. Hal 9
	COD	86%	Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. Hal
	TSS	88,4%	Pamungkas, E. (2015). Studi kinerja biofilter aerob untuk mengolah air limbah laundry

			(Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
	Nitrat	89.1%	Jurnal Teknologi Lingkungan Vol.20 No.2 (2019). Pengolahan Nitrifikasi dan Denitrifikasi Limbah Fosfat dengan Biofilter Tercelup. Hal 243
	Fosfat	87%	Eko Pamungkas.2015.Studi Kinerja Biofilter Aerob untuk Mengolah Air Limbah Laundry
Clarifier	BOD	50-80%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse.
	TSS	60-88%	

Sumber: Literatur tertera