

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Tahu

Industri tahu adalah industri yang memproduksi bahan makanan yang banyak dikonsumsi di seluruh dunia. Produk utama dari industri tahu adalah tahu, yang diproduksi dari kedelai melalui proses pengolahan yang melibatkan beberapa tahapan, seperti perendaman, penggilingan, perebusan, pengendapan, dan pemerasan.

2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Air limbah merupakan kombinasi dari cairan dan sampah-sampah buangan yang dihasilkan dari proses produksi suatu industri, domestik (rumah tangga), perdagangan, air tanah, air permukaan dan air buangan lainnya yang berdampak pada lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik (Metcalf & Eddy et al., 2007). Dalam Peraturan Pemerintah No.101 tahun 2014 limbah didefinisikan sebagai sisa atau buangan dari suatu usaha dan kegiatan manusia. Limbah berbeda dengan sampah, sampah cenderung banyak ditemui dari hasil buangan kegiatan manusia sehari-hari atau proses alam yang berbentuk padat. Sedangkan limbah berasal dari kegiatan manusia secara individu maupun kelompok, seperti pada kegiatan industri yang menghasilkan sisa buangan pada proses produksi (pengolahan bahan baku menjadi produk).

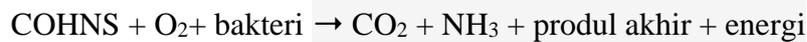
Berdasarkan PermenLH No.5 Tahun 2014, terdapat 6 (enam) parameter utama limbah industri tahu yang perlu diolah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, unsur N dan P, dan pH air limbah tahu. Keenam parameter tersebut harus diolah sesuai dengan baku mutu menggunakan unit yang telah direncanakan. Adapun penjelasan terkait dengan keenam karakteristik limbah cair industri tahu sebagai berikut:

2.2.1 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk memecah bahan-bahan organik yang ada di dalam air. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik

dibutuhkan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya dari proses oksidasi (Fachrurozi, M., Listiati B.M., 2010).

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 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. CHONS (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel dengan reaksi kimia oksidasi:



Sintetis :



Respirasi endogen :



(Metcalf & Eddy et al., 2007)

2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat – zat organik yang berada dalam 1 liter sampel air, dengan proses pengoksidanya adalah $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ atau KMNO_4 . Angka COD adalah ukuran untuk pencemar air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis yang mengakibatkan berkurangnya oksigen yang terlarut di dalam air. Sebagian besar zat organik ini melalui tes COD ini dioksidasi oleh $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dalam kondisi asam yang mendidih optimum (Alaerts dan Santika, 1984).

Apabila kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen yang terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan untuk

hidup. Nilai COD tetap lebih tinggi daripada BOD *ultimate* meskipun nilai dari keduanya dapat sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal ini dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit dioksidasi secara biologis contohnya Lignin yang hanya dapat dioksidasi secara kimiawi, zat anorganik dioksidasi oleh dikromat dapat meningkatkan kandungan organik sampel, beberapa zat organik dapat meracuni mikroorganisme yang diperlukan untuk penentuan BOD, nilai COD yang tinggi dapat disebabkan oleh fakta zat anorganik itu bereaksi dengan dikromat (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 300mg/L, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100mg/L.

Perbedaan reaksi penguraian COD dan BOD adalah COD menggunakan reaksi kimia dan membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat, sedangkan BOD menggunakan mikroorganisme serta membutuhkan waktu yang cukup lama. Rasio COD dan BOD mengindikasikan biodegradabilitas dari air buangan semakin tinggi rasio maka semakin rendah biodegradabilitas dari air buangan (Papadopoulos *et al.*, 2001). Rasio COD dan BOD terbagi menjadi tidak melebihi dari sebuah indikator untuk dampak *output* dari zat organik yang berada dalam air, limbah, lindi, kompos material – material lain yang terjadi di lingkungan. Rasio COD dan BOD yang baik digunakan untuk pengolahan biologis terdapat dalam *range biodegradable* yaitu 0,2 – 0,5 (Mangkoediharjo, 2010). Rasio COD dan BOD antar 0,2 – 0,5 dapat mendegradasi bahan pencemar dengan proses biologis, akan tetapi proses dekomposisinya berjalan lebih lambat karena mikroorganisme pengurai membutuhkan aklimatisasi dengan limbah tersebut (Fresenius *et al.*, 1989). 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).

2.2.3 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) adalah ukuran untuk menentukan sifat asam dan basa. Perubahan pH di suatu air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup di dalamnya. Skala pH berkisar antara 1-14. Kisaran nilai pH 1-7 termasuk kondisi asam, pH 7-14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral (Ningrum, 2018). Derajat keasaman menunjukkan perlu atau tidaknya pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) untuk mencegah terjadinya gangguan pada proses pengolahan limbah cair secara konvensional. Secara umum, dapat dikatakan bahwa pH limbah cair domestik adalah mendekati netral (Soeparman, 2002).

Derajat keasaman dimanfaatkan sebagai indikator pencemaran suatu perairan (Elva Dwi & Khusnul, 2018). Nilai pH mempengaruhi spesiasi senyawa kimia dan toksisitas dari unsur renik yang terdapat di perairan (Masriatini et al., 2019). Nilai pH rendah menunjukkan bahwa air bersifat asam, sehingga dalam kadar tertentu tidak ada makhluk hidup yang berda di dalam perairan tersebut, serta menyebabkan gangguan pencernaan bahkan kematian apabila dikonsumsi oleh makhluk hidup. Perubahan pH pada air limbah disebabkan oleh aktifitas mikroba yang mengubah bahan organik mudah terurai menjadi asam (Dahruji et al., 2016).

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.

2.2.4 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. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2003). 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.

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 (Nusa Idaman Said, 2017).

2.2.5 Kadar Amonia (N- NH₃)

Amoniak (NH₃) adalah senyawa nitrogen yang pada pH rendah akan menjadi NH₄⁺ (amonium). Amoniak berasal dari tinja, air seni, serta penguraian zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air buangan industri, air limbah domestik, ataupun air alam. Adanya senyawa amoniak dalam air dapat mengurangi efektivitas khlorin. Khlorin biasanya digunakan untuk pengolahan air dalam tahap air untuk menghilangkan zat organik yang tersisa dan untuk proses desinfeksi. Amoniak dapat membentuk khloramin jika bereaksi dengan asam hipoklorid yang mana kurang efektif sebagai desinfektan sehingga amoniak dapat dikatakan memakai “kebutuhan klorin” pada proses khlorinasi. Senyawa amoniak dalam air limbah dapat diolah menggunakan mikrobiologis dengan metode aerasi melalui proses nitrifikasi (Said & Sya'bani, 2014).

2.3 Bangun Pengolahan Air Buangan

Pengolahan air limbah memiliki tujuan untuk meremoval parameter pencemar yang terdapat dalam air limbah hingga memenuhi baku mutu untuk

dibuang ke badan air. Berdasarkan urutan proses, pengolahan air limbah dapat dibagi menjadi pengolahan primer, pengolahan sekunder, dan pengolahan tersier. Pengolahan primer adalah proses pengolahan untuk menghilangkan padatan tersuspensi, koloid, dan penetralan. Pengolahan sekunder adalah proses penyisihan senyawa organik terlarut yang dilakukan secara biologis. Pengolahan lanjut adalah proses untuk menghasilkan air *effluent* dengan kualitas yang lebih baik sehingga dapat dimanfaatkan atau dibuang ke lingkungan (Said, 2017).

- 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*)

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 pengolahan 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.

Pada saluran terbuka biasanya terbuat dari cor beton dan memiliki bentuk persegi, trapesium maupun setengah lingkaran seperti pada **Gambar 2.1**. Karena terbuka sehingga terdapat kontak dengan udara langsung. Saluran terbuka memerlukan tempat yang luas dan biasanya digunakan untuk drainase air hujan atau limbah yang tidak membahayakan kesehatan dan lingkungan (Wesli, 2008).



Gambar 2. 1 Saluran Terbuka

(Sumber: https://www.youtube.com/watch?v=msDrYHc_mHw)

Sedangkan saluran tertutup **Gambar 2.2** digunakan untuk air limbah atau air kotor yang membahayakan kesehatan dan mengganggu keindahan. Air Limbah yang melalui saluran tertutup tidak dipengaruhi oleh udara luar atau kontak langsung dengan udara. Saluran tertutup dapat menggunakan

pipa dengan memperhatikan bahan yang digunakan dengan karakter limbah yang dihasilkan (Wesli, 2008).



Gambar 2. 2 Saluran Tertutup

(Sumber: <https://asiacon.co.id/blog/pengertian-fungsi-ukuran-bak-kontrol-air>)

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bangunan ini.

- **Kriteria Perencanaan**

Adapun kriteria perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Freeboard = 5 % - 30%

Kecepatan Aliran (*v*) = 0.3 – 0.6 m/s

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 316)

Koefisien Kekasaran Pipa = 0.002 – 0.012 (Pipa Plastik Halus)

Sesuai dengan **Tabel 2 . 1** berikut ini

Tabel 2. 1 Koefisiensi Kekasaran Pipa

No.	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran Manning (n)
1.	Pipa Besi Tanpa Lapisan	0.012 – 0.015
	Dengan Lapisan Semen	0.012 – 0.013
	Pipa Berlapis Gelas	0.011 – 0.017
2.	Pipa Asbestos Semen	0.010 – 0.015
3.	Saluran Pasangan Batu Bata	0.012 – 0.017
4.	Pipa Beton	0.012 – 0.016

5.	Pipa Baja Spiral dan Pipa Kelingan	0.013 – 0.017
6.	Pipa Plastik Halus (PVC)	0.002 – 0.012
7.	Pipa Tanah Liat (<i>Vitrified Clay</i>)	0.011 – 0.015

(Sumber : (Indonesia, 2017) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, Halaman101)

- **Rumus yang digunakan**

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk merencanakan saluran pembawa:

- **Luas Permukaan (A)**

$$A = \frac{Q}{v}$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m³)

Q = Debit limbah (m³/s)

v = Kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/s)

- **Dimensi Pipa (D)**

$$A = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

D = Diameter pipa (m)

π = phi dengan besar 3.14

- **Jari- jari hidrolis (R)**

$$R = \frac{\pi \times (D/2)^2}{\pi \times D}$$

Keterangan :

A = Luas permukaan (m²)

D = Diameter pipa (m)

π = phi dengan besar 3.14

- **Headloss saluran pembawa**

$$H_f = \left(\frac{v \times n}{R^{2/3}} \right) \times L$$

Keterangan:

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari- jari hidrolis (m)

L = Panjang pipa (m)

➤ **Slope Pipa**

$$S = \frac{H_f}{L}$$

Keterangan:

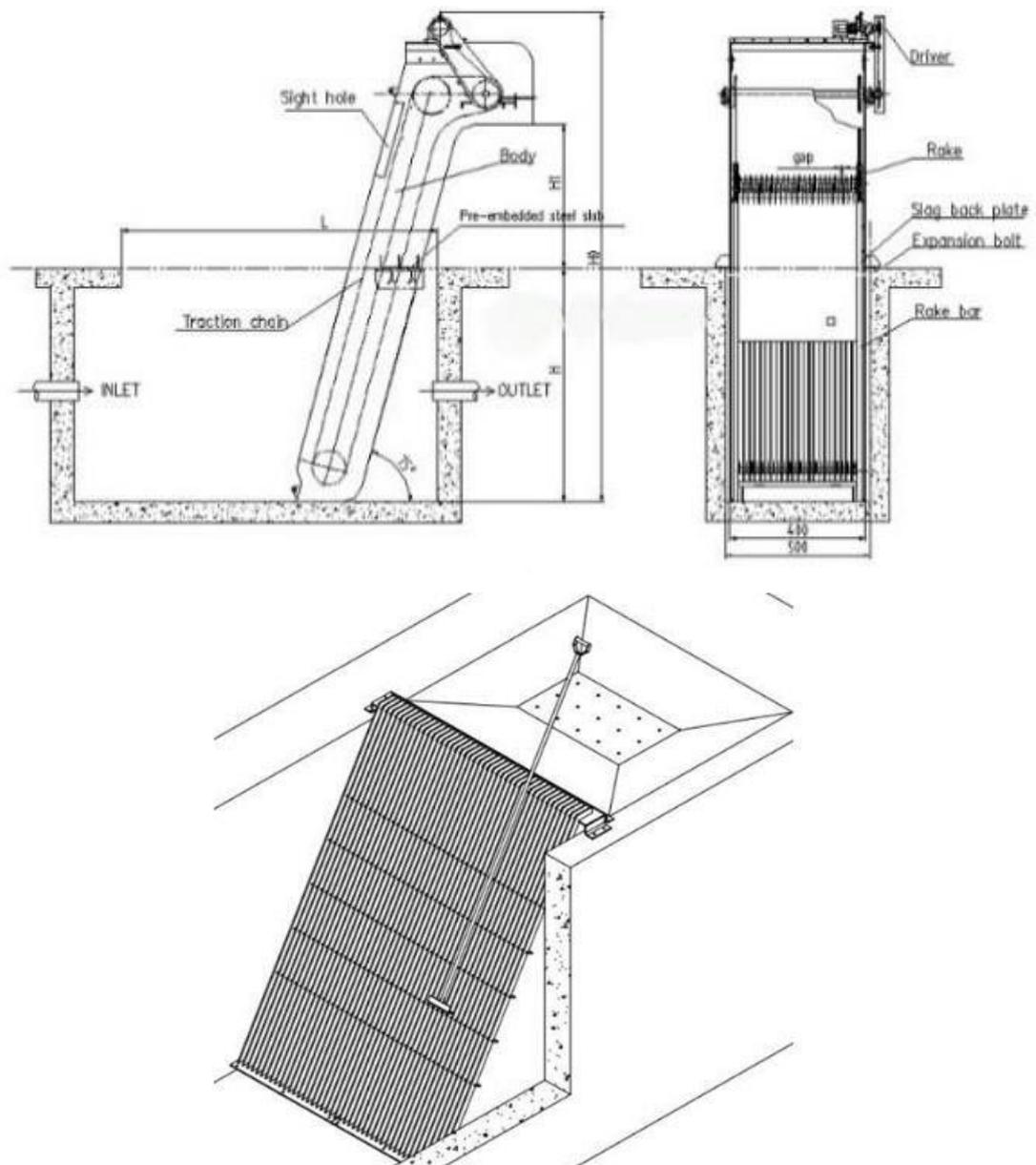
S = Kemiringan pipa (m/m)

H_f = Kehilangan tekanan pipa (m)

L = Panjang Pipa

b. Screening / Bar Screen

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).



Gambar 2. 3 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 posisimiring 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

- Koef saat *non clogging* (c) = 0.7
- Koef saat *clogging* (Cc) = 0.6

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 320)

- Headloss (Hf) = 150 mm – 800 mm

(Sumber : (Qasim, 1985) Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 158)

- Rumus yang digunakan

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

➤ **Menghitung Bak**

➤ **Menghitung Volume Bak**

$$Q = \frac{v}{T}$$

$$V = Q \times T$$

Keterangan:

Q = Debit air limbah (m³/s)

T = Waktu detensi (s)

V = Volume bak kontrol (m³)

➤ **Menghitung Dimensi Bak**

$$V = L \times W \times H$$

Keterangan:

V = Volume bak kontrol (m³)

L = Panjang bak kontrol (m)

W = Lebar bak kontrol (m)

H = Kedalaman bak kontrol

➤ **Menghitung Kecepatan Air pada Bak Kontrol**

$$v = \frac{Q}{W \times H}$$

Keterangan:

v = Kecepatan kontrol (m²/s)

Q = Debit air limbah (m³/s)

W = Lebar bak kontrol (m)

H = Kedalaman bak kontrol (m)

➤ **Menentukan h air dari kedalaman bak kontrol**

$$H_{\text{Bak kontrol/total}} = h_{\text{air}} + \text{freeboard}$$

$$\text{freeboard} = \% \text{ freeboard} \times h_{\text{air}}$$

Keterangan:

$$H_{\text{Bak kontrol/total}} = h_{\text{air}} + \text{freeboard}$$

h_{air} = tinggi air yang melalui *Bar Screen* (m)

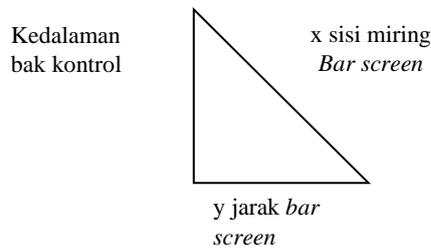
freeboard = ruang kosong untukantisipasi luapan

➤ **Menghitung Dimensi Bar Screen**

Sumber Perhitungan : (Qasim, 1985) *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 164)

• **Panjang *bar screen* (sisi miring)**

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{H_{\text{bak kontrol/total}}}{x} \\ x &= \frac{H_{\text{bak kontrol/total}}}{\sin \theta} \end{aligned}$$



Keterangan

- $H_{\text{Bak kontrol/ total}}$ = kedalaman bak kontrol yang direncanakan (m)
- x = sisi miring *Bar Screen* (m)
- y = jarak *Bar Screen* (m)
- θ = derajat kemiringan *Bar Screen* (°)

• **Menentukan Jumlah Kisi dan Batang**

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

$$\text{Jumlah Batang} = \text{Jumlah Kisi} (n) - 1$$

Keterangan:

- W_s = lebar saluran (m)
- n = jumlah kisi (buah)
- r = jarak antar kisi (m)
- d = lebar kisi/bar (m)

• **Menentukan Lebar Bukaan Screen (W_c)**

$$W_c = W_s - (n \times d)$$

Keterangan:

- W_c = lebar bukaan kisi (m)

W_s = lebar bak kontrol (m)

n = jumlah kisi (buah)

d = lebar kisi/bar (m)

- **Kecepatan yang melalui *Bar Screen***

$$v_i = \frac{Q}{(w_c \times h_{air})}$$

- **Kecepatan aliran saat pembersihan**

$$v_c = \frac{Q}{\%sumbatan \times W_c \times h_{air}}$$

Keterangan :

v_c = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)

Q = debit air limbah (m³/s)

v_i = kecepatan yang lewat *Bar Screen* (m/s)

H_{air} = kedalaman air (m)

- ***Headloss Bar Screen***

Saat *non-clogging*

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{v_i^2 - v_c^2}{2 \times g} \right), C \text{ merupakan koefisien pada saat tidak } clogging \text{ yaitu } 0.7$$

Saat *clogging*

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{v_i^2 - v_c^2}{2 \times g} \right), C_c \text{ merupakan koefisien pada saat } clogging \text{ yaitu } 0.6$$

Keterangan

H_f = kehilangan tekanan pada *Bar Screen* (m)

v_c = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)

Q = debit air limbah (m³/s)

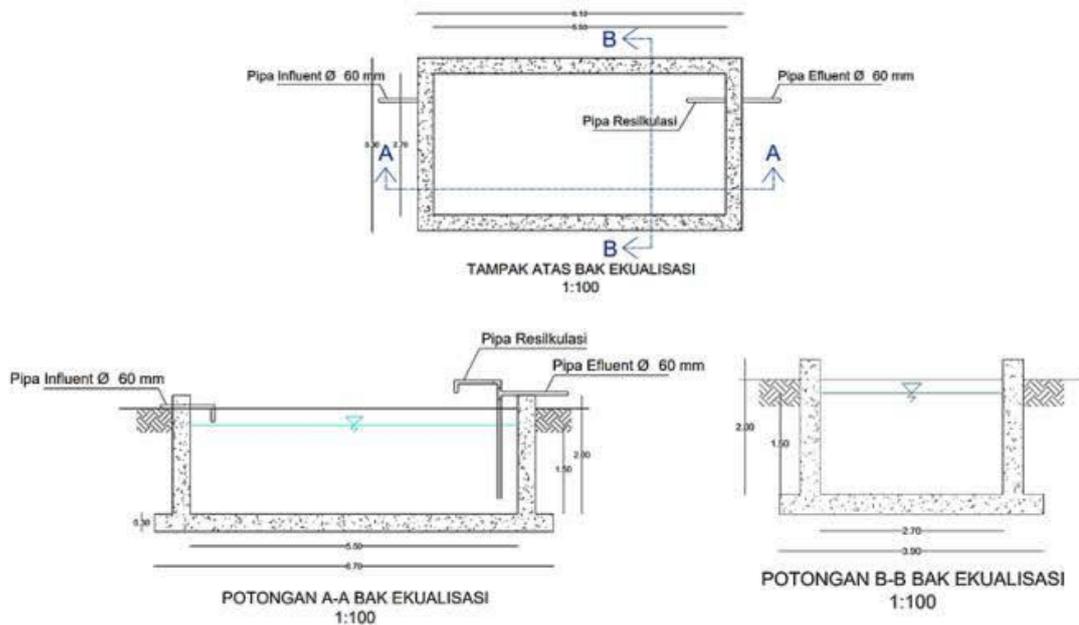
v_i = kecepatan yang lewat *Bar Screen* (m/s)

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: (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 beragam 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).



Gambar 2. 4 Unit Bak Penampung dan Gambar 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):

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

Tabel 2. 3 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimal	h_{\min}	1,5-2	m	
2	Ambang batas (<i>free board</i>)	h_{fb}	5-30	%	(Metcalf &Eddy et al.,2007)
3	Laju pemompaan udara (aerasi)	Q_{udara}	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	T_d	1-2	jam	(Metcalf &Eddy et al., 2007)

Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018, Halaman 32

- **Rumus yang digunakan**

- **Waktu Tinggal (T_d)**

$$T_d = V \times Q$$

Keterangan:

V = volume bak pengumpul (m^3)

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

- **Kecepatan Aliran (A)**

$$A \times H$$

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 (m³)

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

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak pengumpul (m)

• **Kedalaman total (H_{Total})**

$$H_{\text{Total}} = H + (\text{fb} \times H) + H \text{ ruang lumpur}$$

Keterangan:

Fb = freeboard

• **Jari-jari hidrolis**

$$R = \frac{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi \times D}$$

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 pipa

- **Kecepatan aliran dalam pipa pompa outlet**

$$V = Q/A$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

➤ **Headloss**

- **Headloss Mayor (Hf Mayor)**

$$H_f \text{ Mayor} = \frac{10.7 \times Q^{1.85}}{c^{1.85} \times D^{4.87}} \times L$$

- **Headloss Minor (Hf Minor)**

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

Adapun untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurugiadanya *shock loading rate*. Adapun karakteristik pompa yang digunakandiantaranya:

Tabel 2. 4 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
<i>Posite Displacement</i>	Screw	Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua Air limbah pertama Lumpur Kasar

	DiafragmaPenghisap	Permasalahan zat kimia limbah logam Pengolahan lumpur pertama & 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

d. Bak Pengendap Awal

Bak pengendap adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan koagulasi-flokulasi (Masduqi & Assomadi, 2012). Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisahkan 50-70% dari *suspended solid* tanpa bantuan bahankimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan kimia dan 25- 40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh: 1. Aliran angin. 2. Suhu udara permukaan. 3. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air. 4. Suhu terstratifikasi dari iklim. 5. Bilangan *eddy*. Desain bak pengendap 1 ada beberapa jenis yaitu:

- **Bentuk persegi (*Rectangular*)**

Distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003): a. Lebar saluran *inlet* dengan *inlet* limpahan, b. Saluran *inlet* dengan *port* dan *orifice*, c. Saluran *inlet* dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*.

- **Bentuk lingkaran (*Circular*)**

Pada tangki *circular* pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur lingkaran yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumurbiasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1-2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial agar proses pengendapan dapat berjalan dengan efektif (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Kriteria - kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: *surface loading rate* (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy et al., 2007). Adapun kriteria perencanaan untuk bangunan bak pengendap awal adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Kriteria Perencanaan Bak Pengendap Awal

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimal	H	3 – 4,9	m	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Hal 398
2	Diameter	D	3 – 60	m	
3	Slope Dasar	Slope	1/16 – 1/6	mm/m diameter	
4	<i>Flight Speed</i>	-	0,02 – 0,05	m/menit	
5.	Waktu Tinggal	Td	3-5	jam	
6.	<i>Overflow Rate</i> Rata-rataPuncak	-	30-50 80-120	m ³ /m ² .hari	
7.	<i>Weir Loading</i>	-	125-500	m ³ /m ² .hari	
8.	Diameter <i>inlet well</i>	D	15-20	% (Diameter	

				Bak)	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
9.	Kecepatan Aliran Menuju <i>inlet well</i>	V	0,3-0,75	m/s	Hal 401
10.	Konsentrasi Solid	-	4-12	%	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Halaman 398
11.	Suhu	T	30	°C	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
12.	Viskositas Kinematis	V	$0,8 \times 10^6$	m^2/s	
13.	Viskositas Absolut	μ	$0,798 \times 10^{-3}$	m^2/s	
14.	Massa Jenis Air (T=30°C)	ρ_{air}	0,99568	g/cm^3	
15.	Bilangan Reynold (NRE)	NRE	<1 (Laminer)	-	(Reynolds & Richards, 1996) Hal 224
16.	<i>Spesific Gravity Solid (Si)</i>	Si	1,4	-	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
17.	<i>Spesific Gravity Sludge (Sg)</i>	Sg	1,02	-	
18.	NRE untuk V_h	NRE	<2000 (Laminer)	-	(Razif, 1985) Pengolahan

19.	Nfr		10^5	-	Air Minum, Teknik Penyehatan Fakultas Teknik Sipil ITS
20.	Koef. Kekasaran Aksesoris Pipa	K	Elbow =1,1, Tee Lurus = 0,35, Tee Cabang =1 Gate Valve = 0,2	-	(M.Noerbambang & Morimura, 2005) Halaman 76

Sumber: literatur tertera pada tabel

- **Rumus yang digunakan**

- Zona Pengendapan (Settling Zone)**

- **Debit tiap unit (Q)**

- **Volume bak pengendap (V)**

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan:

T_d = waktu detensi

Q = debit air

- **Luas permukaan (A)**

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

Keterangan

V = volume bak

H = tinggi bak

- **Dimensi bak pengendap**

$$A = L \times W$$

$$W = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$L = 2 \times W$$

$$H_{tot} = H + Fb$$

Keterangan:

A = luas bak

L = panjang bak

W = lebar bak

H = tinggi bak

Fb = freeboard

➤ **Cek volume max (Vmax)**

$$V_{max} = L \times W \times H_{tot}$$

Keterangan:

L = panjang bak

W = lebar bak

H_{tot} = tinggi bak total

➤ **Cek waktu detensi (Td cek)**

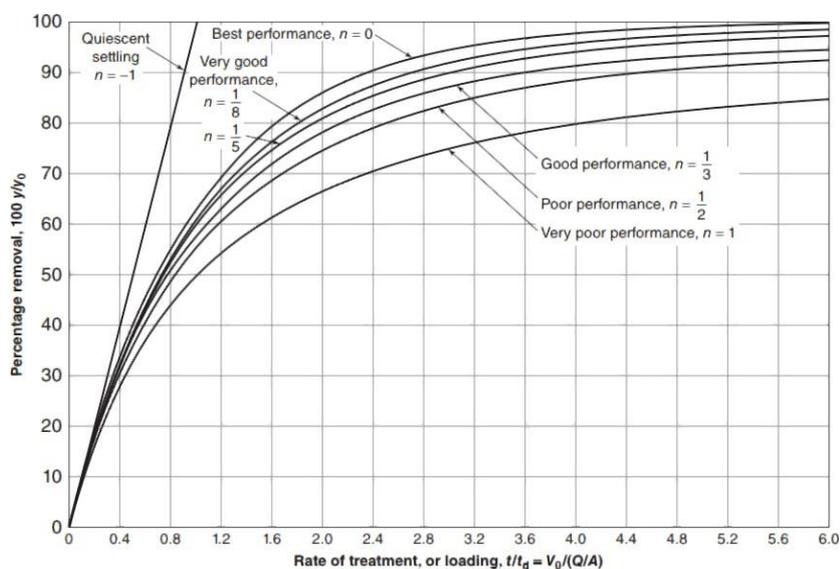
$$T_{dcek} = \frac{v_{max}}{Q}$$

Keterangan:

V_{max} = volume max

Q = debit air

Kecepatan pengendapan partikel (Vs)



Gambar 2. 5 Grafik Kecepatan Pengendapan Partikel pada Prasedimentasi

(Grafik Shammam, 2016. Halaman 448)

Persen removal berkisar antara 60-95%

➤ **Diameter Partikel**

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

➤ **Jari-jari hidrolis (R)**

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

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

➤ **Massa jenis solid (ps)**

$$S_g = \frac{p_s}{p}$$

➤ **Kecepatan horizontal (Vh)**

$$V_h = \frac{Q}{W \times H}$$

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

Q = debit air

➤ **Cek bilangan Reynold (Nre)**

$$N_{re} = \frac{v_h \times R}{\nu}$$

Keterangan:

Vh = kecepatan horizontal

R = viskositas kinematic

V = kecepatan aliran

➤ **Cek bilangan Froude (Nfr)**

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

➤ **Kecepatan penggerusan (Vsc)**

K = konstanta kohesi untuk partikel yang saling mengikat 0,06

F = faktor friksi Darcy-Weibach antara 0,02 – 0,03

$V_{sc} > V_h$ (Syarat memenuhi)

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times K \times (Sg-1) \times g \times dp}{f}}$$

➤ **Kemiringan dasar bak (Slope)**

$$S = 1\% \times L$$

Keterangan:

L = panjang bak

• **Zona Inlet**

➤ **Luas permukaan (A)**

$$A = \frac{Q}{v}$$

➤ **Dimensi saluran**

$$A = H \times W$$

$$W = \sqrt{A}$$

$$H = W$$

$$H_{tot} = H + (Fb \times H)$$

➤ **Cek kecepatan (Vcek)**

$$V_{cek} = \frac{Q}{A}$$

$$V_{cek} = \frac{Q}{W \times H_{total}}$$

➤ **Jari – jari Hidrolis**

$$R = \frac{W \times H}{W + (2 \times 0.25)}$$

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

➤ **Kemiringan dasar saluran (S)**

$$S = \left(\frac{n \times v}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

➤ **Headloss saluran (Hf)**

➤ $H_f = S \times L$

Keterangan:

S = jumlah saluran

L = panjang saluran

- **Zona Transisi (*Transition Zone*)**

- **Luas perforated baffle (A_b)**

A_b = Lebar baffle (W_b) x tinggi baffle (H_b)

- **Luas per lubang**

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

- **Luas bersih baffle**

$$(A_{bb})_{Abb} = 40\% \times A_b$$

Keterangan:

A_b = luas perforated baffle

- **Jumlah lubang total**

$$n_{total} = A_{bb}/AL$$

Keterangan:

AL = luas per lubang

A_{bb} = luas bersih baffle

- **Cek jumlah lubang (cek_n)**

cek_n = lubang horizontal (n_h) x lubang vertical (n_v)

- **Jarak antar lubang horizontal**

$$S_h = W_b/(n_h+1)$$

Keterangan:

n_h = lubang horizontal

H = tinggi bak

- **Jarak antar lubang vertical (s_v)**

$$S_v = H_b/(n_h+1)$$

Keterangan:

n_v = lubang vertical

H = tinggi bak

- **Debit per lubang**

$$QL = (Q_{bak})/(\text{jumlah lubang } (n))$$

- **Kecepatan aliran lewat lubang**

$$V_L = (\text{Debit lubang } (Q)) / (1/4 \times \pi \times D^2)$$

➤ **Jari-jari lubang (R)**

$$R = D/2$$

➤ **Cek bilangan Reynold (Nre)**

$$NRe = (\rho \text{ air} \times v \text{ lubang} \times R) / (\mu \text{ air})$$

Keterangan:

R = viskositas kinematic

μ = viskositas dinamik

ρ = massa jenis

➤ **Cek bilangan Froude (Nfr)**

$$NFr = \sqrt{(v / (g \times R))}$$

Keterangan:

R = viskositas kinematic

g = gravitasi

v_L = kecepatan aliran lewat lubang

➤ **Zona Lumpur (Sludge Zone)**

➤ **Berat lumpur (Ws)**

$$W_s = Q \times (\text{TSS} + \text{kekeruhan} + \text{BOD}) \text{ teremoval}$$

➤ **Berat air**

$$W_w = ((\text{Kadar air dalam lumpur}) / (\text{Kadar padatan dalam lumpur})) \times W_s$$

Keterangan:

W_s = berat sludge (lumpur)

Berat jenis lumpur (ρ_s)

➤ **Berat Jenis Lumpur**

$$\rho_s = (\text{berat jenis SS} \times 5\%) + (\text{berat jenis air} \times 95\%)$$

➤ **Volume Lumpur**

$$V \text{ sludge} = \frac{\text{berat lumpur } (W_s) + \text{berat air } (W_w)}{\text{berat jenis lumpur } (\rho_s)} \times t_p$$

Keterangan:

T_d = waktu detensi

➤ **Dimensi zona lumpur**

Luas permukaan atas zona lumpur $A = L1 \times W1$

Luas permukaan dasar zona lumpur $A' = L2 \times W2$

Keterangan:

A = luas zona

L = Panjang zona

W = lebar zona

H = tinggi zona

➤ **Volume limas terpancung (V)**

$$V = 1/3 \times H \times (A + (\sqrt{AA'}) + A')$$

➤ **Dimensi pipa penguras lumpur**

$$Q_p = (V \cdot \text{lumpur}) / (\text{Waktu pengurasan})$$

➤ **Luas penampang pipa lumpur**

Pipa Suction

A = luas penampang

$$A = 0.25 \times \pi \times d^2$$

Pipa Discharge

A = luas penampang

$$A = 0.25 \times \pi \times d^2$$

➤ **Kecepatan aliran dalam pipa lumpur**

Pipa Suction dan Discharge

$$V = Q/A$$

• **Zona Pelimpah (*Overflow Zone*)**

➤ **Panjang total weir (Lw)**

$$L_w = \frac{Q \text{ bak}}{WRL}$$

Keterangan:

WRL = weir loading

➤ **Panjang pelimpah (L)**

$$L = \frac{L_w}{\text{jumlah pelimpah}}$$

Keterangan:

Lw = Panjang total weir

➤ **Debit tiap pelimpah (weir)**

$$Q_{\text{Weir}} = \frac{Q}{n}$$

Keterangan:

Q = debit air

n = jumlah saluran

➤ **Luas saluran gutter**

$$A = \frac{Q_{\text{weir}}}{v}$$

Keterangan:

v = kecepatan aliran

Tinggi (H) dan Lebar (W) Pelimpah (gutter)

Direncanakan H:W = 1 : 2 maka:

$$H = \sqrt{2 \times 0.02 \text{ m}^2}$$

$$W = 2 \times H$$

➤ **Ketinggian air pada pelimpah (H air)**

$$H_{\text{air}} = \left(\frac{Q_{\text{weir}}}{1.38 \times \text{lebar gutter}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

➤ **Tinggi gutter (h gutter)**

$$h_{\text{gutter}} = h_{\text{air}} + (h_{\text{air}} \times 20\%)$$

➤ **Jari- jari hidrolis gutter**

$$R_{\text{gutter}} = \frac{h_{\text{air}} \times \text{lebar gutter}}{(2 \times h_{\text{air}}) + \text{lebar gutter}}$$

➤ **Luas basah gutter (A gutter)**

$$A_{\text{gutter}} = \text{lebar gutter} \times h_{\text{air}}$$

➤ **Slope gutter (S)**

$$S_{\text{gutter}} = \left(\frac{Q_{\text{gutter}} \times n}{A_{\text{gutter}} \times (R_{\text{gutter}})^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

➤ **Headloss pada gutter**

$$H_f = L_{\text{gutter}} \times S_{\text{gutter}}$$

Keterangan:

L = panjang

S = slope

➤ **Jumlah V notch**

$$n = \frac{\text{panjang weir}}{\text{jarak antar } v \text{ notch} + \text{lebar } v \text{ notch}}$$

➤ **Debit mengalir tiap V notch**

$$Q \text{ notch} = \frac{Q}{\text{jumlah } v \text{ notch}}$$

➤ **Tinggi peluapan melalui V notch (H)**

$$Q = \frac{8}{15} (Cd) \sqrt{2 \cdot g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

Keterangan:

g = gravitasi

H = tinggi peluapan

• **Zona Outlet**

➤ **Volume saluran pengumpul (V)**

V = Debit (Q) x waktu detensi (td)

➤ **Dimensi saluran**

V = L x W x H

H_{tot} = H + Freeboard

Keterangan:

L = Panjang bak

W = lebar bak

H = tinggi bak

➤ **Jari-jari hidrolis (R)**

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

Keterangan

W = lebar bak

H = tinggi bak

➤ **Luas penampang pipa (A)**

$$A = \frac{\text{Debit air (Q)}}{\text{kecepatan aliran (v)}}$$

➤ **Diameter pipa (D)**

$$D = \sqrt{\frac{A \times Q}{\frac{22}{7}}}$$

➤ **Cek kecepatan (Vcek)**

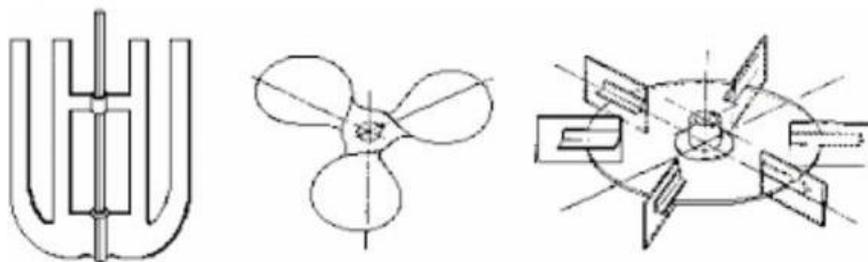
$$V_{cek} = \frac{\text{Debit air (Q)}}{\text{Luas penampang pipa (A)}}$$

e. Netralisasi

Limbah cair industri biasanya bersifat asam dan basa sehingga memerlukan penetralan karena dapat mengganggu proses pengolahan berikutnya. Penetralan asam dan basa dilakukan dengan mempertahankan pH pada range 6 dan 9 untuk memastikan aktivitas biologis yang optimal. Pada proses biologis secara alami memungkinkan akan terjadi netralisasi akibat adanya produk CO₂ dari pembakaran asam oleh buffer. Karena kurang efektif maka dilakukan proses netralisasi (Eckenfelder & Jr., 2000).

Bak Netralisasi digunakan untuk mencampurkan basa dengan air limbah (asam), agar mencapai pH netral yang dikehendaki. Proses netralisasi menggunakan 2 bak yaitu bak netralisasi dan bak pembubuh. Pada kedua bak terjadi pengadukan untuk mencampur atau menghomogenkan larutan. Proses pengadukan menggunakan prinsip *mixing* dengan aliran turbulen. Pada bak dilengkapi peralatan mekanis yaitu motor penggerak, dengan kriteria kecepatan pengadukan (**Gambar**) sebagai berikut (Reynolds & Richards, 1996):

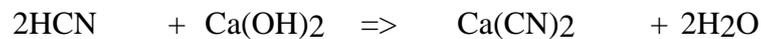
- *Paddle* dengan putaran 2 – 150 rpm
- *Turbine* dengan putaran 10 – 150 rpm
- *Propeller* dengan putaran 150 – 15000 rpm



Gambar 2. 6 a) Paddle Impeller b) Propeller Impeller c) Turbine Impeller

Pada limbah cair tepung tapioka terdapat kandungan sianida dalam bentuk HCN yang berbahaya dan beracun bagi lingkungan. Alternatif pengolahan sianida dalam air limbah salah satunya dapat dilakukan dengan

menggunakan metode Netralisasi. Adanya HCN pada air limbah membuat air menjadi asam, sehingga perlu penambahan basa untuk penetralan pH dan pengolahan sianida. Pada jurnal digunakan Ca(OH)_2 , dengan reaksi sebagai berikut (Jeklin, 2016).



Penurunan HCN terjadi karena reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2). Ion sianida merupakan ion yang sangat reaktif, bila berikatan dengan logam akan membentuk garam kompleks yang stabil. Garam sianida dan larutan sianida memiliki toksisitas yang lebih rendah dibanding hidrogen sianida. Hal ini disebabkan karena garam sianida dan larutan sianida dapat masuk ke dalam tubuh hanya melalui ingesti. Kompleks sianida yang stabil jika tidak melepaskan sianida bebas tidak akan bersifat toksik (Jeklin, 2016).

- **Kriteria Perencanaan**

- Waktu detensi (T_d) = 20 – 60 detik (bak netralisasi)
- Gradien kecepatan (G) = 700 – 1000 /detik
- Diameter *Paddle* (D_i) = 30 – 80 % dari Diameter bak
- Lebar *Paddle* (W_i) = 1/6 – 1/10 Diameter paddle
- Kecepatan putaran *Paddle* (n) = 20 – 150 rpm
- Kedalaman bak (H) = 1-1.25 D/W
- *Reynold number* (R_{Ne}) = >10000
- Kecepatan pipa *Outlet* (v) = 1 – 1.25 m/s
- Jenis *Impeller* = *Flat paddles, 2 blades (single paddle)*
- Koefisien Turbulen (KT) = 2.25

(Sumber : (Reynolds & Richards, 1996) *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 182 -187*)

- pH = 6 – 9
- Konsentrasi Ca(OH)_2 = 20%

(Sumber : SNI 6774:2008 tentang Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air)

- **Rumus yang digunakan**

A. Tangki Pembuat Larutan / Tangki Kimia

- Dosis Na(OH)₂

$$pOH = -\log[OH^-]$$

$$pOH = -\log [\text{gram } V \times 1 \text{ Mr}] \quad pOH = -\log [Do \times 1 \text{ Mr}]$$

Keterangan :

[OH⁻] = konsentrasi basa (mg/L)

pOH = selisih pH yang diinginkan dengan pH air limbah

gram = massa Na(OH) (gram)

V = volume air dalam 1 liter (L)

Mr = berat molekul Na(OH) (gram/mol) Do = dosis Na(OH) (kg/L)

Do = dosis Na(OH) (kg/L)

- Kebutuhan Na(OH)

$$\text{Kebutuhan Na(OH)} = D \times Q$$

Keterangan :

Do = dosis Na(OH) (kg/L)

Q = debit air yang dibutuhkan (L/s)

- Volume Na(OH)₂

$$\text{Volume Na(OH)} = \frac{\text{Kebutuhan Ca(OH)}}{\rho_{NaOH}} \times \text{Periode Pembuatan Larutan}$$

Keterangan :

ρ_{NaOH} = massa jenis Na(OH) (kg/L)

- Kebutuhan Air untuk Pelarutan

$$V_{\text{air Pelarut}} = \frac{100\% - \text{Kadar air}}{\text{Kadar air}} \times V_{NaOH}$$

Keterangan :

$V_{\text{air pelarut}}$ = volume air pelarut (m³)

V_{NaOH} = volume Na(OH) (m³)

Kadar air = kadar air pelarut sebesar (80%)

- Volume Larutan Na(OH)

$$\text{Volume Larutan Na(OH)} = V_{\text{Na(OH)}} + V_{\text{air pelarut}}$$

Keterangan :

Volume Larutan Na(OH) = Volume tangki (m³ atau L sesuai di pasaran)

$V_{\text{air pelarut}}$ = volume air pelarut (m³)

(OH) = volume Na(OH) (m³)

- Debit Tangki Pembubuh/Injeksi

$$O = \frac{V_{\text{larutan Ca(OH)}}}{T_d \text{ Pembubuhan}}$$

B. Tangki Netralisasi

- Volume limbah masuk tangki netralisasi

$$V_{\text{limbah}} = Q_{\text{limbah}} \times T_d$$

Keterangan:

V = volume limbah (m³)

Q_{limbah} = debit limbah (m³/s)

T_d = waktu detensi (s)

- Volume Total atau Volume Tangki

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{limbah}} + V_{\text{pembubuh}}$$

Keterangan:

V_{Tangki} = volume tangki netralisasi (m³)

V_{limbah} = volume air limbah (m³)

V_{pembubuh} = volume tangki pembubuh (m³)

- Perhitungan pengaduk Tangki

- Supply tenaga

$$P = G_2 \times \mu \times V$$

Keterangan:

P = daya air (Watt atau kW)

V = volume tangki (m³)

G = gradien kecepatan (/detik)

μ = viskositas absolut (N.s /m²)

b. Diameter Paddle Impeller

$$D_i = \frac{P}{Rt \times n^3 \times \rho_{air}}^{1/5}$$

$$Cek D_i = \frac{D_i}{D_{tangki}}$$

(50-80% dari Diameter Tangki)

Keterangan :

D_i = diameter Impeller (m)

P = daya air (Watt atau kW)

Kr = koefisien turbulen

ρ_{air} = massa jenis air (kg/m³)

c. Lebar Paddle Impeller

$$W_i = 1/10 \times D_{tangki}$$

Keterangan: W_i = Lebar Impeller (m)

D_{tangki} = Diameter tangki (m)

d. Cek Nilai Bilangan Reynold

$$Nre = \frac{D_i \times n \times \rho}{\mu}$$

$Nre > 10000$ Memenuhi (Aliran Turbulen)

Keterangan:

Nre = nilai bilangan reynold

D_i = diameter Impeller (m)

N = kecepatan putar (rps)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

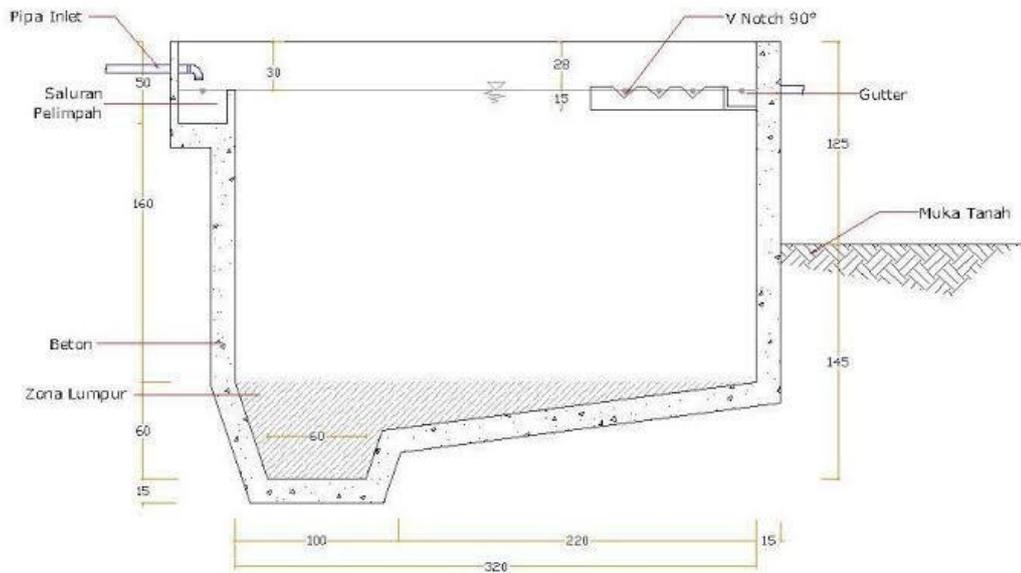
μ = viskositas absolut (N.s /m²)

2.3.2 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 domestik 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. 7 Unit Sedimentasi Persegi

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

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

- *Horizontal flow* (aliran horizontal), umumnya dalam bentuk persegi panjang
- *Radial flow* (aliran radial), yaitu bak sirkular, air mengalir dari tengah menuju pinggir
- *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.) *Scraper 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. 6 Kriteria Perencanaan Unit 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)				(Qasim & Zhu, 2017)
	Panjang	p	10-100	m	
	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	
--	----------	---	------	---	--

No.	Parameter	Simbol	Satuan	Besaran	Sumber
	Kedalaman	h	3-6	m	
6.	Penyisihan TSS	-	50-70	%	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
7.	Penyisihan BOD	-	50-80	%	
8.	Kemiringan Dasar	Slope (S)	1-2	%	(Qasim & Zhu, 2017)

Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018 Halaman 41

- **Rumus yang digunakan**

- **Zona Settling Sedimentasi**

Q_{in} 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**

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

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

T_d = waktu detensi

➤ **Diameter partikel**

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

➤ **Cek bilangan N_{Re} untuk V_s**

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

➤ **Kecepatan horizontal di bak (V_h)**

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

Keterangan:

Q_{in} = debit awal

D = diameter bak

H = tinggi bak

➤ **Jari-jari hidrolis (R)**

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

Keterangan:

r = jari-jari bak

H = tinggi bak

➤ **Cek bilangan Froude (NFr)**

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

Keterangan:

V_h = kecepatan horizontal

H = tinggi bak

g = gravitasi

➤ **Cek bilangan Reynold (NRe)**

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

Keterangan:

V_h = kecepatan horizontal

R = viskositas kinematic

ν = kecepatan aliran

➤ **Cek kecepatan penggerusan (vsc)**

$$V_s = \sqrt{\frac{8K(s-1) \times g \times d}{f}}$$

• **Zona Inlet Sedimentasi**

➤ **Diameter inlet well (D')**

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

➤ **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**

Massa solid total = MLVSS x Volume lumpur Biofilter

➤ **Total massa solid bak sedimentasi akhir (*clarifier*)**

P = %Biological yang tetap dalam biofilter anaerobik-aerobik

Massa solid total = P x Total massa solid pada bak biofilter

➤ **Kedalaman zona thickening**

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

• **Zona Sludge Sedimentasi**

➤ **Total lumpur yang terkumpul (TL)**

TL = Px x Waktu Pengurusan

Total berat lumpur pada bak (TLM)

TLM = TL + M.Solid total

Keterangan:

TL = total lumpur yang terkumpul

➤ **Volume lumpur pada bak (VL)**

$$V_L = \frac{Tlm}{\rho_s}$$

Keterangan:

TLM = total berat lumpur pada bak

➤ **Debit lumpur (QL)**

$$Q_L = \frac{V_L}{\text{Waktu pengurasan}}$$

Keterangan:

V_L = volume lumpur

➤ **Volume air**

Vol. Air = 95% x V_L

Keterangan:

V_L = volume lumpur

➤ **Berat air**

Berat air = Vol.air x Berat jenis air

Volume solid Vol.Solid = 5% x V_L Keterangan:

V_L = volume lumpur

➤ **Berat solid**

Berat solid = Vol.Solid x Berat jenis solid

➤ **Dimensi ruang lumpur**

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

➤ **Kedalaman total sedimentasi (*clarifier*)**

H Total = HSettling + HThickening + HSludge

• **Zona Outlet Sedimentasi**

➤ **Panjang keliling weir**

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

➤ **Jumlah V Notch setiap pelimpahan (weir)**

➤ n V notch = $\frac{L \text{ weir}}{\text{jarak antar weir}}$

➤ **Debit pelimpah setelah melalui V-notch**

$$Q \text{ v notch} = \frac{Q}{n}$$

➤ **Tinggi limpahan melalui V notch**

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

➤ **Luas permukaan saluran pelimpah**

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

➤ **Dimensi saluran pelimpah**

$$A = 2H \times H$$

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

$$B = 2 \times H$$

Keterangan:

H = tinggi saluran

• **Pipa Outlet Sedimentasi**

➤ **Luas penampang pipa**

$$A = Q/v$$

➤ **Diameter pipa outlet**

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

Keterangan:

A = luas bak

➤ **Cek kecepatan pipa outlet**

$$v = \frac{Q}{A}$$

➤ **Headloss mayor (Hf mayor)**

$$Hf_{mayor} (Hf) = \frac{10.7 \times L \times Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}}$$

➤ **Headloss minor (Hf minor)**

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

➤ **Headloss total (Hf total)**

$$Hf_{total} = Hf_{mayor} + Hf_{minor}$$

2.3.3 Pengolahan Sekunder

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

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

- Efisiensi pengolahan, ditujukan agar unit yang dirancang mampu mengolah air limbah hingga memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.
- 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.
- Aspek ekonomis, menyangkut masalah pembiayaan (finansial) dalam hal konstruksi operasi, dan pemeliharaan IPAL.
- 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. 8 Skema kerja dan media biofilter aerobik dalam tangki

(Sumber: <https://ipalbiofive.com>)

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):

Jenis media, bahan untuk media aerobik biofilter harus kuat, keras dan tahantekanan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan

per menit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah batu kali, kerikil, dan sebagainya.

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.

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. pH, pertumbuhan mikroorganisme khususnya bakteri dipengaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik, usahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH antara 4-9,5, dengan pH yang optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman. Suhu/temperatur. Suhu yang baik untuk mikroorganisme 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. 7 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 <i>upflow</i>
Mampu menghilangkan/mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi (TSS), deterjen, amonium, dan fosfor	Mebutuhkan waktu picu (<i>starter time</i>) yang lebih lama
Pengelolaan, maintenance yang mudah dan praktis tanpa memerlukan tenaga ahli	Apabila banyak terdapat padatan limbah yang masuk dapat menimbulkan penyumbatan

Kelebihan	Kekurangan
Biaya operasi unit yang rendah (tingkat aerasi rendah) dan tidak memerlukan lahan yang luas	Tidak tahan terhadap minyak dan lemak (<i>grease</i>)
Dibandingkan dengan unit <i>activated sludge</i> , 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. 8 Perbandingan luas permukaan spesifik media biofilter

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m²/m³)
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

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

- Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam
- Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
- Beban BOD/volume media = 0,5 – 4,0 kg BOD /m³.hari
- Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m².hari
- Tinggi bed media pembiakan mikroba = 0,9 – 1,5 m
- Media Biofilter
- Tipe = sarang tawon
- Material = PVC Sheet
- Ketebalan = 0,15 – 0,23mm
- Luas kontak spesifik = 150 – 226m²/m³
- Diameter lubang = 3cm x 3cm
- Berat spesifik = 30 – 35 kg/m³
- Porositas rongga = 0,98

Biofilter Aerob

- Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam 24
- Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
- Beban BOD/volume media = 0,5 – 4 kg BOD /m³.hari
- Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m².hari
- Tinggi bed media pembiakan mikroba = 1,2 m
- Media Biofilter Aerob

- Tipe = Sarang Tawon
- Material = PVC Sheet
- Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
- Luas Kontak Spesifik = 150 – 226 m²/m³
- Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
- Berat Spesifik = 30 – 35 kg/m³
- Porositas Rongga = 0,98
- Blower Udara
- Densitas udara = 1,2kg/m³
- Berat aliran udara (w) = 85-1700m³/menit
- Tekanan absolut outlet (P2) = 25lb/in² = 1,7 atm
- Tekanan absolut inlet (P1) = 14,7 lb/in² = 1 atm
- Konstanta Udara = 8,314 kj/mol.K
- K = 1,395
- N = 0,28
- Efisiensi = 70-90%

Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 304-311

- **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

- **Waktu tinggal di dalam reaktor (Td)**

Cek waktu Td rata – rata = $\frac{447 \text{ m}^3}{1800 \text{ m}^3/\text{hari}}$

- **Dimensi reaktor**

V.reaktor = P x L x T

- **BOD Loading per volume media**

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

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**

$$\text{V.Lumpur} = \frac{\text{Beban COD lumpur}}{\text{konsentrasi solid kering x densitas lumpur}}$$

• **Dimensi reaktor aerobik biofilter**

$$\text{V.reaktor} = P \times L \times T$$

➤ **Rasio F/M**

$$\text{F/M Rasio} = \frac{Q \times S_0}{v \times MLSS}$$

➤ **Waktu tinggal yang dibutuhkan pada reaktor (Td)**

$$\text{Td reaktor} = \text{V.reaktor} / \text{debit air limbah} \times 24 \text{ jam}$$

$$\text{Kebutuhan Udara} = \frac{\text{Kebutuhan udara teoretis}}{\text{Berat udara x jumlah oksigen}}$$

2.3.4 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):

- Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab untuk menimbulkan bau.
- Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- 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. 9 Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Tebal pasir	23-30	cm	
2.	Tebal kerikil	20-30	cm	
3.	Sludge loading rate	100-300	kg/m ² .tahun	
4.	Tebal bed	20-30	cm	

5.	Lebar bed	5-8	m	Qasim, 1985
6.	Panjang bed	6-30	m	
7.	Waktu pengeringan	10-15	hari	
8.	Uniformity coefficient	<4		
9.	Effective size	0,3-0,75	mm	
10.	V air dalam inlet	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 Edition., 2003
14.	Diameter Pipa Underdrain	>100	Mm	
15.	Koef. Keseragaman	<4	-	
16.	Ukuran Efektif	0,3-0,785	%	
17.	Slope	>1	%	
18.	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***
- Keterangan:
- P = Kadar air
- Pi = Berat air dalam *cake* (60 – 70%)
- **Volume *bed***
- $V = V_i \times t_{dK}$
- Keterangan:
- V_i = Volume *cake sludge* (m^3)
- t_{dK} = waktu detensi (detik)
- Volume tiap *bed*

- Keterangan:
- $V = \text{Volume bed (m}^3\text{)}$
- **Dimensi tiap bed**
 - $A = L \times W$
 - Keterangan
 - $V_b = \text{volume tiap bed (m}^3\text{)}$
 - $L = \text{panjang (m)}$
 - $W = \text{Lebar (m)}$
- **Kedalaman *underdrain***
 - Keterangan:
 - $V_a = \text{volume air}$
 - $A = \text{luas tiap bed}$
- **Kedalaman total**
 - $H = \text{tinggi cake + tinggi media}$
 - $H_{\text{total}} = H + F_b$
 - Keterangan
 - $H_{\text{total}} = \text{Kedalaman total bak (m)}$
 - $F_b = \text{Freeboard (10-30\% kedalaman)}$
- **Diameter pipa *underdrain***
 - Keterangan:
 - $V_a = \text{volume air}$
 - $T_d = \text{waktu detensi}$
 - $Q = \text{debit air}$
- Volume air
 - V_a
- Keterangan:
- $T_d = \text{waktu detensi}$

Tabel 3. 1 Persen Penyisihan Unit Pengolahan

Unit	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%	
Biofilter Anaerob	BOD	92%	Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.7 N0.2 (2017). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerob Media Plastik Bioball. Hal 55
	COD	90%	
	TSS	90-98%	Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean. Hal 9
Biofilter Aerob	BOD	90-95%	Said, Nusa Idaman. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Hal 305
	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 9
	N- NH3	83% - 96%	Jurnal Media Neliti Vol.7 (2014). Penghilangan Amoniak didalam Air Limbah Domestik Dengan

			Proses Moving Bed Biofilm Reactor
Clarifier	BOD	50 - 80%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse.
	TSS	60 -88%	