

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Industri Tahu

Limbah cair pada proses produksi tahu berasal dari proses perendaman, pencucian kedelai, pencucian peralatan proses produksi tahu, penyaringan dan pencetakan tahu. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan oleh industri tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih (*whey*). Cairan ini mengandung kadar protein tinggi dan dapat segera terurai. Limbah ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari lingkungan (Setyaningrum et al., 2019).

Limbah cair industri tahu berupa air sisa rendaman kedelai, sisa perebusan/ penyaringan, pencucian dan pengupasan kulit kedelai. Apabila limbah cair ini dibuang langsung ke lingkungan maka dalam waktu singkat akan menimbulkan bau busuk dari gas H_2S , amoniak ataupun fosfin sebagai akibat dari terjadinya fermentasi limbah organik tersebut. Adanya proses pembusukan akan menimbulkan bau yang tidak sedap terutama pada musim kemarau dengan debit air yang berkurang. Perairan yang setiap hari menerima beban limbah dari proses pembuatan tahu dan tempe ini akan mempengaruhi kualitas air dan kehidupan mikroorganisme di perairan tersebut (Nurdianti R., 2015).

Salah satu limbah cair industri tahu adalah *whey* yang merupakan buangan dari proses penggumpalan tahu dengan kandungan bahan organik yang sangat tinggi. Limbah ini mengandung padatan tersuspensi dan terlarut yang akan mengalami perubahan fisik, kimia, dan hayati dan menghasilkan zat beracun atau menumbuhkan media untuk tumbuhnya kuman yang dapat menimbulkan penyakit pada manusia dan lingkungan. Limbah tersebut dapat berakibat kepada pernafasan manusia, dan mencemari sumber air apabila dibuang langsung ke badan air permukaan yang dapat menimbulkan gatal, diare, dan penyakit lainnya (Nurhasan & Pramudyanto, 1991).

2.2 Karakteristik Air Buangan Industri Tahu

Setiap industri memiliki karakteristik air limbah yang berbeda-beda, sesuai dengan kegiatan/proses produksi yang terjadi pada industri tersebut. Demikian pula dengan Industri Tahu yang mempunyai karakteristik limbahnya tersendiri sesuai dengan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

Berdasarkan peraturan yang diacu, terdapat 4 (empat) parameter utama limbah industri tahu yang perlu diolah sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya pH, BOD, COD, dan TSS. Adapun penjelasan terkait dengan keempat karakteristik air limbah industri tahu sebagai berikut :

2.2.1 pH atau Derajat Keasaman

pH atau derajat keasaman merupakan suatu ukuran tingkat asam atau basa suatu cairan. 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 dapat hidup optimal pada tingkat keasaman (pH) yang netral yaitu berkisar antara 6 hingga 9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) yang tinggi sulit diolah secara biologis sehingga perlu diolah terlebih dahulu melalui unit pengolahan tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007). pH netral yang diizinkan dalam baku mutu baik Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 maupun oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 yaitu sebesar 6 sampai 9. Umumnya pada air limbah industri minyak kelapa sawit, pH berkisar antara 3,5 hingga 6 yang berarti limbah cair industri minyak kelapa sawit bersifat asam dan diperlukan pengolahan berupa netralisasi pH maupun pengolahan lainnya yang sesuai.

2.2.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

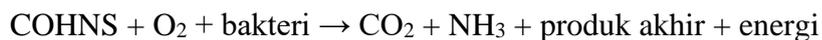
BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf et

al., 1991). Bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi atau disebut dengan *readily decomposable organic matter* (Boyd, 1990).

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.

Reaksi tersebut diuraikan sebagai berikut :

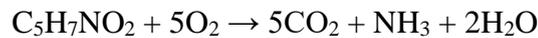
Oksidasi:



Sintesis:



Respirasi endogen:



(Metcalf & Eddy et al., 2007)

Pada umumnya, hasil analisa BOD digunakan untuk :

- a. Menentukan perkiraan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan bahan organik secara biologis;
- b. Menentukan ukuran bangunan pengolahan limbah;
- c. Menghitung efektivitas dari beberapa proses pengolahan; dan
- d. Menentukan pemenuhan izin pembuangan air limbah.

Oleh karena itu, pengujian BOD₅ akan terus digunakan pada waktu tertentu, hal ini penting untuk mengetahui secara rinci dari proses pengujian dan batasan-batasannya (Metcalf, 2003).

2.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) didefinisikan sebagai jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terdapat di dalam sampel air atau banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O . Pada reaksi ini hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dalam suasana asam. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat teroksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. Pengujian COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan cara menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam (Sari, 2019).

Hubungan antara *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) adalah bahwa keduanya digunakan untuk mengukur kandungan bahan organik dalam air atau limbah. BOD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air atau limbah, sedangkan COD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air atau limbah. Karena COD mencakup senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme, nilai COD biasanya lebih tinggi daripada nilai BOD (Metcalf & Eddy et al., 2007).

2.2.4 Total Suspended Solids (TSS)

TSS (Total Suspended Solids) merujuk pada jumlah padatan yang terlarut dalam air dan diukur dengan cara memfilter massa padatan dengan ukuran filter tertentu. Sumber dari padatan terlarut tersebut bisa berasal dari limbah industri, domestik, atau alami seperti lumpur, tanah, dan sisa-sisa tumbuhan. Kandungan TSS yang tinggi dalam air dapat mengurangi transparansi dan menyerap cahaya matahari, sehingga dapat menghambat pertumbuhan organisme akuatik dan memengaruhi kualitas lingkungan akuatik. Selain itu, TSS juga dapat mengendap

pada dasar sungai atau danau dan mengurangi kandungan oksigen terlarut di dalam air (Wu et al., 2019).

Pengurangan TSS dalam air dapat dilakukan dengan berbagai metode, termasuk penggunaan proses koagulasi-flokulasi. Proses tersebut melibatkan penambahan bahan kimia koagulan dan flokulan ke dalam air limbah untuk membantu pengendapan dan pemisahan padatan dari air. Metode Jar Test dapat digunakan untuk menentukan dosis bahan kimia yang optimum yang diperlukan dalam proses koagulasi-flokulasi (Marfekuen, 2023).

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan Industri Tahu

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya.

Proses pengolahan air limbah umumnya dibagi menjadi empat tahapan dan satu tahapan lain, yaitu :

a. Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Pengolahan pendahuluan bertujuan untuk menyaring sampah-sampah terapung yang masuk bersama dengan air agar dapat mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Contohnya seperti, menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu pengolahan pendahuluan juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari unit operasinya ke bangunan pengolahan air limbah.

b. Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses yang terjadi yaitu secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat yang tercampur melalui pengapungan dan pengendapan.

c. Pengolahan Kedua (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobik.

d. Pengolahan Ketiga (*Tertiary Treatment*)

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

e. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel 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 mereduksi lumpur dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Adapun bangunan pengolahan air limbah yang dirancang untuk studi kasus limbah cair industri tahu, antara lain :

2.3.1 Bak Kontrol

Bak Kontrol adalah bak penampung awal influen air limbah sebelum dilakukan penyaringan kasar pada bar screen dan unit pengecekan kualitas air limbah awal sebelum dilakukan pengolahan.

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

- Waktu Tinggal (Td)
 $Td = V \times Q$ Keterangan:
V = volume bak kontrol (m³)
Q = debit air limbah yang dipompa (m³/detik)
- Kecepatan Aliran (V)
 $V = A \times H$
Keterangan:
A = luas permukaan bak pengumpul (m²)
H = kedalaman air (m)
- Dimensi Bak Kontrol
 $V = P \times L \times H$
Keterangan:
V = volume bak (m³)
P = panjang bak (m), dengan 2 x L
L = lebar bak (m)
H = ketinggian bak kontrol (m)
- Kedalaman Total (H_{Total})
 $H_{Total} = H + (fb \times H)$
Keterangan:
Fb = *freeboard*
- Jari-Jari Hidrolis
 $R = \frac{W \times H}{W \times 2H}$
Keterangan:
W = lebar bak
H = tinggi bak

2.3.2 Bar Screen

Barscreen digunakan dalam pengolahan air baik air limbah maupun air bersih. *Barscreen* berfungsi untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran >0,5 – 1 cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan

pengolahan air buangan selanjutnya. Umumnya unit *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).

Screen digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan perlengkapan lainnya dari kerusakan atau penyumbatan oleh kain dan benda besar (Metcalf, 2003). 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).

Bar screen umumnya terbuat dari batangan besi atau baja yang dilapisi anti karat, dipasang pada kerangka melintang di dalam saluran air dengan posisi miring ke arah *inlet* air, dengan kemiringan antara $30^{\circ} - 45^{\circ}$ dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007). Ketebalan batangan biasanya berkisar antara 5 – 15 mm, dengan jarak antar batang sekitar 25 – 50 mm, agar bisa disesuaikan dengan parameter atau limbah yang ingin disaring. Pembuatan dan perhitungan *bar screen* didesain berdasarkan debit pada saat aliran puncak.

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

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan *Coarse Screen*

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

Parameter	U.S. Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Kemiringan terhadap vertikal (derajat)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 - 30
Kecepatan	1,0 – 2,0 ft/s	2,0 – 3,25 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1,0 m/s
<i>headloss</i>	6 m	5 – 24 m	150 mm	150 – 600 mm

Sumber: (Metcalf, 2003)

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

- Tinggi *bar screen*

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

Keterangan:

H = tinggi

Fb = *freeboard*

- Jumlah Batang Kisi (n)

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

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan screen (wc)

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

Keterangan:

wc = lebar bukaan screen

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi (\square)

$$\square = h + \textit{freeboard}$$

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (P)

$$P = \frac{y}{\sin \alpha}$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

y = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (x)

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

Keterangan:

α = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

- Kecepatan melalui Kisi (Vi)

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

Keterangan

Q = debit *inlet* air limbah

wc = lebar bukaan screen

h = tinggi muka air

- *Headloss* pada *Bar screen* saat non-clogging

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

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

- *Headloss* pada *Bar screen* saat clogging

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

Cc merupakan koefisien pada saat clogging yaitu 0,6.

2.3.3 Bak Penampung

Bak penampung merupakan bangunan yang berfungsi untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak penampung maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan

dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (*inlet*) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Manfaat utama dari aplikasi bak penampung antara lain:

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

Namun unit bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya adalah:

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

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung, antara lain (Kementerian PUPR, 2017) :

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

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit bak penampung antara lain sebagai berikut (Kementerian PUPR, 2017) :

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimal	h_{\min}	1,5-2	m	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
2	Ambang batas (<i>free board</i>)	h_{fb}	5-30	%	
3	Laju pemompaan udara (aerasi)	Qudara	0,01-0,015	$m^3/m^3\text{-menit}$	
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: (Kementerian PUPR, 2017)

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

- Waktu Tinggal (T_d)

$$T_d = V \times Q \text{ Keterangan:}$$

$$V = \text{volume bak pengumpul (m}^3\text{)}$$

$$Q = \text{debit air limbah yang dipompa (m}^3\text{/detik)}$$

- Kecepatan Aliran (V)

$$V = A \times H$$

Keterangan:

$$A = \text{luas permukaan bak pengumpul (m}^2\text{)}$$

$$H = \text{kedalaman air (m)}$$

- Dimensi Bak Penampung

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

Keterangan:

$$V = \text{volume bak (m}^3\text{)}$$

$$P = \text{panjang bak (m), dengan } 2 \times L$$

$$L = \text{lebar bak (m)}$$

$$H = \text{ketinggian bak pengumpul (m)}$$

- Kedalaman Total (H_{Total})

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

Keterangan:

$Fb = \text{freeboard}$

- Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

2.3.4 Bak Netralisasi

Proses netralisasi bertujuan untuk melakukan perubahan derajat keasaman (pH) air limbah atau air buangan industri. 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. Karena kurang efektif maka dilakukan proses netralisasi (Eckenfelder, 1989).

Terdapat beberapa cara menetralkan kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti (Reynolds & Richards, 1996):

- a. Pencampuran limbah asam dengan basa dengan komposisi yang sesuai
- b. Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur
- c. Penambahan Ca(OH)₂, NaOH, Na₂(CO)₃, atau NH₄(OH) ke limbah asam
- d. Penambahan asam kuat H₂(SO)₄, HCl ke dalam limbah basa
- e. Pembangkitan CO₂ dalam limbah basa

No.	Asam dan Basa	Rumus Kimia	Kelarutan (g/100 g air)	Keterangan
1.	Natrium Hidroksida	NaOH	42 (0 °C)	Kelarutan tinggi Kecepatan reaksi tinggi, Harga mahal
2.	Natrium Karbonat	Na ₂ CO ₃	7 - 2 (0 °C)	
3.	Kalsium Oksida	CaO	-	- Kelarutan kecil, karena berbentuk "Slurry".
4.	Kalsium Hidroksida	Ca(OH) ₂	0,185 (0 °C)	- Kecepatan reaksi rendah
5.	Kapur	Ca(CO) ₃	0,014 (25 °C)	- Harga murah
6.	Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	-	- Larutan kecepatan reaksi tinggi
7.	Asam Klorida	HCl	-	- Bentuk larutan sehingga mudah di olah.

Gambar 2.1 Perbandingan bahan penetral pH untuk proses netralisasi air limbah

Sumber: (Agustina & Emmy, 1995)

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 sebagai berikut (Reynolds & Richards, 1996) :

- 1) *Paddle* dengan putaran 2 – 150 rpm
- 2) *Turbine* dengan putaran 10 – 150 rpm
- 3) *Propeller* dengan putaran 150 – 15.000 rpm



Gambar 2.2 a) *Paddle impeller*, b) *Propeller Impeller*, c) *Turbine Impeller*

Berikut merupakan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit netralisasi:

A. Bak Pembubuh

- Dosis Ca(OH)₂

$$\text{Dosis} = \frac{q \text{ (mg)}}{V \text{ air (L)}} \times \frac{1}{BM \text{ (g/g.mol)}} \times \frac{1}{1000 \text{ (mg/g)}}$$

- Kebutuhan Ca(OH)₂

$$\text{Ca(OH)}_2 = \text{Dosis Ca(OH)}_2 \times Q \text{ air limbah}$$

- Kebutuhan air pelarut

$$Q_1 \times N_1 = Q_2 \times N_2$$

- Volume total

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

Keterangan:

Q = debit air

T_d = waktu detensi

- Dimensi tangki

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

Keterangan:

d = diameter tangki

h = tinggi tangki

- Suplai tenaga ke air

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Diameter *impeller*

$$D_i = \left(\frac{P}{KT \times n^3 \times \rho} \right)^{1/5}$$

- Lebar *impeller*

$$W_i = 1/10 \times D_i$$

Keterangan:

D_i = diameter *impeller*

- Cek bilangan reynold (N_{re})

$$NRe = \frac{Di^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:

Di = diameter *impeller*

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran *paddle*

B. Bak Netralisasi

- Volume tangki netralisasi

$$V \text{ Tangki} = Q \times Td$$

$$V \text{ Total} = V \text{ Air} + V \text{ Pembubuh}$$

- Dimensi tangka netralisi

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

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

Keterangan:

d = diameter tangki

h = tinggi tangki

- Suplai tenaga ke air

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Cek Di

$$\text{Cek Di} = \frac{Di}{D} \times 100\%$$

Keterangan:

Di = diameter *impeller*

D = diameter tangki

- Menghitung ukuran baffle pada tangki

$$\text{Baffle} = 10\% \times D_T$$

- Cek bilangan reynold (Nre)

$$NRe = \frac{Di^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:

Di = diameter *impeller*

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran *paddle*

- Luas penampang pipa

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

Keterangan:

Q = debit air

V = volume tangki

- Diameter pipa *outlet*

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

- Cek kecepatan pipa *outlet*

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

Keterangan:

Q = debit air

A = luas

C. *Dosing Pump*

- Debit *dosing pump* (Q) = $Q_{\text{pembubuhan}}$

2.3.5 Bak Sedimentasi

Unit pengolahan bak pengendap 1 digunakan untuk memisahkan padatan tersuspensi dan terlarut yang ada di dalam cairan menggunakan system gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Efisiensi removal dari unit ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Bak pengendap bentuk rectangular terdiri dari empat zona, yaitu :

- *Zona Inlet (Inlet Zone)*

Zona *inlet* berfungsi untuk mendistribusikan air ke seluruh area bak secara seragam, mengurangi energi kinetik air yang masuk, serta untuk memperlancar transisi dari kecepatan air yang tinggi menjadi kecepatan air yang rendah yang sesuai untuk terjadinya proses pengendapan di zona pengendapan (Kawamura, 2000).

- Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh tiga faktor, yaitu :

- i. Karakteristik partikel tersuspensi;
- ii. Overflow rate; dan
- iii. Efisiensi Bak.

- Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

Zona lumpur merupakan zona untuk partikel-partikel deskret yang telah mengendap dan memiliki kemiringan tertentu menuju hopper yang terletak di bawah *inlet*. Kemiringan pada zona lumpur berfungsi untuk mempermudah saat pembersihan lumpur. Pada bak rengular, kemiringan dasar bak sebesar 1%-2 %. Kemiringan yang cukup terutama untuk pembersihan yang dilakukan secara manual, sebab pembersihan secara manual biasanya dilakukan dengan cara menggelontorkan air agar lumpur terbawa oleh air (Qasim, 1985).

- Zona *Outlet* (*Outlet Zone*)

Desain *Outlet* biasanya terdiri dari pelimpah yang dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi terjadinya aliran pendek. *Weir loading rate* adalah beban pelimpah (dalam hal ini debit air) yang harus ditanggung per satuan waktu dan panjangnya. Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka *weir loading rate* akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona *Outlet* tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar. Penyusunan zona *Outlet* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bak pengendap 1 pada setiap bagiannya.

a. Kriteria Perencanaan

Zona Pengendapan (Settling Zone)

i. Over Flow Rate (OFR)

- Average = 30-50 m³/m².hari

- Peak = 70-130 m³/m².hr

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

ii. Waktu Tinggal (Td) = 0,6 – 3,6

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

iii. Dimensi

a. Rectangular

- Panjang (L) = 10-100 m

- Lebar (W) = 3-24 m

- Kedalaman (H) = 2,5-5 m

- W : L = 1-7,5 : 1

- L : H = 4,2-25 : 1

b. Circular

- Diameter (D) = 3-60 m

- Kedalaman (H) = 3-6 m

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 271)

iv. % Removal TSS = 50%-70%

Sumber: (Huisman, 1977, Halaman 12)

v. Bilangan Reynold (NRe) = <2000 (Aliran Laminer)

vi. Bilangan Freud (NFr) = >10⁻⁵ (Mencegah Aliran Pendek)

(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)

vii. Specific Gravity Suspended Solid = 1,3-1,5

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)

- viii. Slope ke arah Zona *Sludge*
- Rectangular = 1%-2%
 - Circular = 40-100 m/m
- Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 274)
- ix. Cek NRe Partikel < 0,5
- x. Syarat terjadinya pengendapan ($T_p < T_d$)
- xi. Syarat terjadinya penggerusan ($V_{sc} > V_h$)
- xii. Suhu air buangan 28 °C, sehingga:
- Kinematic Viscosity (ν) = $8,004 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
 - Absolute Viscosity (μ) = $8,004 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
 - Massa Jenis (ρ) = $0,99626 \text{ g/cm}^3$
= $996,26 \text{ kg/m}^3$
- Sumber: (Reynolds & Richards, 1996, Halaman 762)
- xii. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016
- Sumber: (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017)
- xiv. Kontrol penggerusan
- Faktor kisi porositas (β) = 0,05
 - Faktor fraksi hidrolis (λ) = 0,03
- (Sumber: (Huisman, 1977) Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 57)

Zona Inlet (Inlet Zone)

- i. Kecepatan Aliran = 0,3-0,6 m/s
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition. Halaman 316)
- ii. *Freeboard* = 10%-20%
(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 159)
- iii. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016
Sumber: (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017)

Zona Transisi (Transition Zone)

- i. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016

Sumber: (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017)

- ii. Suhu air buangan 28 °C, sehingga:
- *Kinematic Viscosity* (ϑ) = 8,004 x 10⁻⁷ m²/s
 - *Absolute Viscosity* (μ) = 8,004 x 10⁻⁴ N.s./m²
 - *Massa Jenis* (ρ) = 0,99626 g/cm³
= 996,26 kg/m³

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996, Halaman 762)

Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

- i. Volatile Solid = 60%-90%
- ii. Dry Solid = 3%-8%

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 428)

- iii. Specific Gravity Suspended Solid = 1,3-1,5

Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003, Halaman 411)

- iv. Suhu air buangan 28 °C, sehingga:
- *Kinematic Viscosity* (ϑ) = 8,004 x 10⁻⁷ m²/s
 - *Absolute Viscosity* (μ) = 8,004 x 10⁻⁴ N.s./m²
 - *Massa Jenis* (ρ) = 0,99626 g/cm³
= 996,26 kg/m³

Zona Outlet (*Outlet Zone*)

- i. Koefisien Grad (Cd) = 0,6
- ii. Sudut V Notch = 60°

Sumber: (Qasim, dkk., 2000)

- iii. Weir *Loading Rate*
 - 124 m³/m.hr untuk debit <44 L/s
 - 186 m³/m.hr untuk debit >44 L/s

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 270)

b. Rumus yang Digunakan

Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

- i. Luas Permukaan

$$A = \frac{Q}{\text{Over Flow Rate}}$$

Keterangan:

A = luas permukaan (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

ii. Cek Over Flow Rate

$$\text{OFR} = \frac{Q}{L \times W}$$

Keterangan:

Q = debit limbah (m³/s)

L = panjang(m)

W = lebar (m)

OFR = Over Flow Rate (m³/m².hari)

iii. Kecepatan Pengendapan (v_s)

$$v_s = \frac{H}{T_d}$$

Keterangan:

T_d = waktu detensi (s)

V_s = kecepatan pengendapan (m²/s)

H = kedalaman (m)

iv. Kecepatan Horizontal (v_h)

$$v_h = \frac{L}{T_d}$$

Keterangan:

V_h = kecepatan horizontal (m²/s)

L = panjang (m)

T_d = waktu detensi (s)

v. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

H = kedalaman (m)

vi. Diameter Partikel (D_p)

$$D_p = \sqrt{\frac{v_s \times \vartheta \times 18}{g \times (S_s - 1)}}$$

Keterangan:

D_p = diameter partikel (m)

ρ = kinematic viscosity (m^2/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

V_s = kecepatan pengendapan (m^2/s)

S_s = Spesifik Gravity Suspended Solid

vii. Cek Bilangan Reynold Partikel (NRe Partikel)

$$NRe \text{ Partikel} = \frac{v_s \times D_p}{\vartheta}$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynolds

V_s = kecepatan pengendapan (m^2/s)

D_p = diameter partikel (m)

S_s = Spesifik Gravity Suspended Solid

viii. Cek Bilangan Reynold Zona Pengendapan (Nre)

$$NRe = \frac{v_h \times R}{\vartheta}$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynolds

V_h = kecepatan horizontal (m^2/s)

R = jari-jari hidrolis (m)

ρ = kinematic viscosity (m^2/s)

ix. Cek Bilangan Freud (NFr)

$$NFr = \frac{v_h}{\sqrt{g \times H}}$$

Keterangan:

NFr = Bilangan Freud

V_h = kecepatan horizontal (m^2/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

x. Cek Penggerusan/Kecepatan Scouring (v_{sc})

$$V_{sc} = \left[\left(\frac{8 \times \beta}{\lambda} \right) \times (Ss - 1) \times g \times Dp \right]^{1/2}$$

Keterangan:

V_{sc} = Kecepatan *Scouring* (m^2/s)

Ss = *Spesifik Gravity Suspended Solid*

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Dp = diameter partikel (m)

xi. Slope Bak

$$S_{Bak} = 1\% \times L$$

Keterangan:

S_{Bak} = slope bak (m/m)

L = pnajang bak (m)

xii. Kehilangan Tekanan Pada Zona Pengendapan

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

Keterangan:

H_f = kehilangan tekanan pipa (m)

V_h = kecepatan horizontal (m^2/s)

n = koefisien kekasaran manning

R = jari-jari hidrolis (m)

L = panjang bak (m)

Zona Inlet (Inlet Zona)

i. Luas Permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan:

A = luas permukaan (m^2)

W = lebar bak (m)

L = panjang bak (m)

ii. Volume Zona *Inlet*

$$V = Q \times Td$$

Keterangan:

V = volume bak (m³)

Q = debit air limbah (m³/s)

Td = waktu detensi (s)

iii. Kedalaman Zona *Inlet*

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

H Total = H + Fb

Keterangan:

H = kedalaman bak (m)

V = volume bak (m³)

A = luas permukaan (m²)

Fb = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

iv. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

H = kedalaman (m)

Zona Transisi (Transition Zone)

i. Luas *Perforated Baffle* (Ab)

$$Ab = Wb \times Hb$$

Keterangan:

Ab = Luas *Perforated Baffle*

Wb = Lebar Baffle

Hb = Tinggi Baffle

ii. Luas per Lubang (Al)

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

Keterangan:

Al = Luas per Lubang

D = Diameter Lubang

iii. Luas Bersih Baffle (Abb)

$$Abb = 40\% \times Ab$$

Keterangan:

Abb = Luas Bersih Baffle

Ab = Luas Perforated Baffle

iv. Jumlah Lubang (n Total)

$$n \text{ Total} = \frac{\text{Luas Bersih Baffle (Abb)}}{\text{Luas per Lubang (Al)}}$$

Keterangan:

n Total = Jumlah Lubang

Abb = Luas Bersih Baffle

Al = Luas per Lubang

v. Jarak antar Lubang Horizontal (Sh)

$$Sh = \frac{\text{Lebar Baffle (Wb)}}{n \text{ Horizontal}}$$

Keterangan:

Wb = Lebar Baffle

n Horizontal = Jumlah Lubang Horizontal

vi. Jarak antar Lubang Vertikal (Sv)

$$Sv = \frac{\text{Tinggi Baffle (Hb)}}{n \text{ Vertikal}}$$

Keterangan:

Hb = Tinggi Baffle

n Vertikal = Jumlah Lubang Vertikal

vii. Kecepatan Aliran Lewat Lubang (vl)

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

Keterangan:

vl = Kecepatan Aliran Lewat Lubang

Ql = Debit Melalui Lubang

D = Diameter Lubang

viii. Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{\text{Diameter Lubang}}{2}$$

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

- ix. Cek Bilangan Reynold (NRe)

$$NRe = \frac{\rho \text{ air} \times v_l \times R}{\mu}$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynolds

ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)

v_l = Kecepatan Aliran Lewat Lubang

R = jari-jari hidrolis (m)

μ = *Absolute Viscosity* (N.s.m^2)

- xiv. Cek Bilangan Freud (NFr)

$$NFr = \frac{v_l^2}{g \times R}$$

Keterangan:

NFr = Bilangan Freud

v_l = Kecepatan Aliran Lewat Lubang

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

R = jari-jari hidrolis (m)

Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

- i. Removal TSS (output *Sludge* di Bak Pengendap)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \% \text{removal}))$$

Keterangan:

C_n = Removal TSS (mg/L)

C_o = TSS *Influent* (mg/L)

$\% \text{removal}$ = persentase removal TSS

- ii. Berat Solid

$$\text{Berat Solid} = \text{Removal TSS} \times Q$$

Keterangan:

Q = Debit air limbah (m^3/s)

iii. Berat Air

$$\text{Berat Air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{Berat Solid}$$

Keterangan:

$$\frac{95\%}{5\%} = \text{perbandingan antara air \& solid}$$

iv. Berat Jenis Solid

$$S_g = (60\% \times S_g \text{ Volatile Solid}) + (40\% \times S_g \text{ Fixed Solid})$$

Keterangan:

$$S_g = \text{berat jenis solid (kg/m}^3\text{)}$$

v. Berat Jenis *Sludge*

$$S_i = (5\% \times \text{Berat Jenis Solid}) + (95\% \times \rho \text{ air})$$

Keterangan:

$$S_i = \text{berat jenis } \textit{sludge} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho = \text{Massa Jenis Air (kg/m}^3\text{)}$$

vi. Volume Solid

$$V \text{ Solid} = \frac{\text{Berat Solid}}{S_g \text{ Solid}}$$

Keterangan:

$$V \text{ solid} = \text{volume solid (m}^3\text{)}$$

$$S_g = \text{berat jenis solid (kg/m}^3\text{)}$$

vii. Volume Air

$$V \text{ Air} = \frac{\text{Berat Air}}{\rho \text{ air}}$$

Keterangan:

$$V \text{ Air} = \text{volume air (m}^3\text{)}$$

$$\rho = \text{Massa Jenis Air (kg/m}^3\text{)}$$

viii. Volume Lumpur

$$V \text{ Lumpur} = V \text{ air} + V \text{ Solid}$$

Keterangan:

$$V \text{ Air} = \text{volume air (m}^3\text{)}$$

$$V \text{ Solid} = \text{volume solid (m}^3\text{)}$$

ix. Dimensi Ruang Lumpur

V Pengurasan = V Lumpur x Periode Pengurasan

Luas Atas (Aa) = La x Wa

Luas Bawah (Ab) = Lb x Wb

V Ruang Lumpur = $\frac{1}{3}$ x H x [(Aa + Ab) + ($\sqrt{Aa + Ab}$)]

Keterangan:

H = kedalaman (m)

Aa = luas permukaan atas (m²)

Ab = luas permukaan bawah (m²)

La = panjang atas (m)

Wa = lebar atas (m)

Lb = panjang bawah (m)

Wb = lebar bawah (m)

x. Pipa Penguras

Q Pengurasan = $\frac{V \text{ Ruang Lumpur}}{Td}$

Keterangan:

Qp = debit pengurasan (m³/s)

Td = waktu detensi (s)

Diameter Pipa Penguras

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

Keterangan:

D = diameter pipa (m)

A = luas permukaan (m²)

Zona Outlet (Outlet Zone)

i. Luas Permukaan

A = W x L

Keterangan:

A = luas permukaan (m²)

W = lebar bak (m)

L = panjang bak (m)

ii. Volume Zona *Outlet*

$$V = Q \times Td$$

Keterangan:

V = volume bak (m^3)

Q = debit air limbah (m^3/s)

Td = waktu detensi (s)

iii. Kedalaman Zona *Outlet*

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

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

Keterangan:

H = kedalaman bak (m)

V = volume bak (m^3)

A = luas permukaan (m^2)

Fb = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

iv. Kecepatan Aliran

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

Keterangan:

V = Kecepatan Aliran (m/s)

Q = debit air limbah (m^3/s)

W = lebar (m)

H = kedalaman bak (m)

v. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

vi. Kehilangan Tekanan

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

Keterangan:

H_f = kehilangan tekanan pipa (m)

v = kecepatan aliran (m/s)

n = koefisien kekasaran manning pipa

R = jari – jari hidrolis (m)

L = panjang pipa (m)

vii. Slope (S)

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

Keterangan:

S = kemiringan pipa (m/m)

H_f = kehilangan tekanan pipa (m)

L = panjang pipa (m)

ix. Gutter dan Weir (Pelimpah)

- Panjang Weir (L_w)

$$\text{Panjang Weir (L}_w\text{)} = \frac{Q}{\text{Weir Loading Rate} \times \text{Jumlah Weir}}$$

Keterangan:

L_w = Panjang Weir (m)

Q = debit air limbah (m³/s)

- Luas Saluran Pelimpah/Gutter

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

Keterangan:

A = luas permukaan *gutter* (m²)

Q = debit air limbah (m³/s)

v = kecepatan aliran (m/s)

- Ketinggian Air Pada Gutter (H_{air})

$$H_{\text{air}} = \left(\frac{Q_{\text{Gutter}}}{1,38 \times W_{\text{Gutter}}} \right)^{2/3}$$

Keterangan:

H_{air} = ketinggian air (m)

Q_{gutter} = debit yang melalui *gutter* (m³/s)

- Tinggi Gutter (H Gutter)

$$H_{\text{Gutter}} = H + \textit{Freeboard}$$

Keterangan:

H Gutter = tinggi gutter (m)

H = kedalaman bak (m)

Fb = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

- Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R_{\text{gutter}} = \frac{W_{\text{Gutter}} \times H_{\text{air}}}{W_{\text{Gutter}} + (2 \times H_{\text{air}})}$$

Keterangan:

R_{gutter} = Jari-Jari Hidrolis Gutter (m)

W_{gutter} = Lebar Gutter (m)

H_{air} = ketinggian air (m)

- Luas Basah Gutter

$$A_{\text{Gutter}} = W_{\text{gutter}} \times H_{\text{air}}$$

Keterangan:

A_{Gutter} = Luas Gutter (m²)

W_{gutter} = Lebar Gutter (m)

H_{air} = ketinggian air (m)

- Kemiringan Gutter

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

Keterangan:

S = kemiringan gutter (m/m)

Q_{gutter} = debit yang melalui gutter (m³/s)

n = jumlah kisi (kisi / buah)

A_{Gutter} = Luas Gutter (m²)

R_{gutter} = Jari-Jari Hidrolis Gutter (m)

- Kehilangan Tekanan pada Gutter

$$H_f = S \times L$$

Keterangan:

H_f = Kehilangan Tekanan (m)

S = kemiringan *gutter* (m/m)

L = Panjang Gutter (m)

x. V Notch

- Jumlah V Notch

$$n \text{ V Notch} = \frac{L_w}{\text{Jarak antar V Notch} + W \text{ V Notch}}$$

Keterangan:

n V Notch = Jumlah V Notch

L_w = Panjang Weir (m)

- Debit Mengalir Tiap V Notch

$$Q_{\text{V Notch}} = \frac{Q}{n \text{ V Notch}}$$

Keterangan:

Q_{V Notch} = Debit Mengalir Tiap V Notch (m³/s)

Q = debit air limbah (m³/s)

n V Notch = Jumlah V Notch

- Tinggi Peluapan Melalui V Notch

$$Q_{\text{V Notch}} = \frac{8}{15} \times C_d \times \sqrt{2 \times g} \times \frac{\tan \theta}{2} \times H^{5/2}$$

Keterangan:

Q_{V Notch} = Debit Mengalir Tiap V Notch (m³/s)

C_d = koefisien *drag*

g = percepatan gravitasi (m/s²)

H = kedalaman (m)

2.3.6 Biofilter Anaerobik-Aerobik

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi. Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerobik dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO₂, air, dan amonia. Menurut Casey (2006) dalam Pamungkas & Slamet (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 & Slamet, 2017).

Pengolahan limbah dengan secara anaerobik dalam aplikasinya menggunakan media biofilter dalam reaktor anaerobik. Media biofilter yang digunakan bertujuan untuk tempat melekatnya mikroorganisme sehingga berguna untuk pengembangbiakan mikroorganisme tersebut. Hal ini dikarenakan, pengolahan limbah secara anaerobik merupakan suatu metabolisme tanpa menggunakan oksigen yang dilakukan oleh bakteri anaerobik. Dalam proses, anaerobik ini, yang sangat berperan adalah aktifitas mikroba dalam multi tahap pengolahan limbah secara anaerobik, yaitu tahap hidrolitik, asidifikasi, dan methanasi (Said & Firly, 2005).

Pengolahan air limbah dengan biofilm atau biofilter tercelup dilakukan dengan mengalirkan air limbah ke reaktor biologis dimana didalamnya terdapat media penyangga yang berguna dalam pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Proses biofilter aerobik dilakukan dengan memberikan udara atau oksigen. Dimana posisi media biofilter tercelup dibawah permukaan air. Senyawa polutan yang berada di air limbah seperti senyawa organik, ammonia, fosfor, dan lainnya akan berdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. ada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam 23 lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa (Said & Firly, 2005).

Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air. Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa cara yang sering digunakan antara lain adalah aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan "air lift *pump*", dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan

dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.

Jika kemampuan penyerapan oksigen besar maka kemampuan ini dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik yang besar pula. Karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula. Jika sistem aliran dilakukan dari atas ke bawah maka sedikit banyak terjadi efek filtrasi sehingga terjadi proses penumpukan lumpur organik pada bagian atas media yang dapat mengakibatkan penyumbatan. Oleh karena itu perlu proses pencucian secukupnya. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (short pass) dan juga terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun secara drastis (Said & Ruliasih, 2005).

Media penyangga adalah merupakan bagian yang terpenting dari biofilter, oleh karena itu pemilihan media harus dilakukan dengan seksama disesuaikan dengan kondisi proses serta jenis air limbah yang akan diolah. Di dalam prakteknya ada beberapa kriteria media biofilter ideal yang perlu diperhatikan antara lain yakni luas permukaan spesifik, fraksi volume rongga, diameter celah bebas, ketahanan terhadap penyumbatan, fleksibilitas, pemeliharaan yang mudah, harga per unit luas permukaan. Maka dari itu, dibuat perbandingan untuk pemilihan media dalam biofilter yang disajikan pada gambar sebagai berikut :

Tipe Media	A	B	C	D	E	F	G
Luas Permukaan Spesifik	5	1	5	5	5	5	5
Volume Rongga	1	1	1	1	4	5	5
Diameter celah bebas	1	3	1	1	2	2	5
Ketahanan terhadap penyumbatan	1	3	1	1	3	3	5
Material	5	5	5	5	5	5	5
Harga per satuan luas	5	3	3	5	4	1	4
Kekuatan mekanik	5	5	1	1	2	2	5
Berat media	1	1	5	5	4	5	5
Fleksibilitas	2	2	1	3	3	4	4
Perawatan	1	1	1	1	3	3	5
Konsumsi Energi	2	2	1	5	4	5	5
Sifat dapat basah	5	5	3	3	3	1	3
Total Bobot	34	32	28	36	42	41	56

Keterangan :

Bobot : 1 = Terburuk 5 = Terbaik

A : Gravel atau kerikil kecil
 B : Gravel atau kerikil besar
 C : Mash Pad
 D : Brillo Pad
 E : Bio Ball
 F : Random Dumped
 G : Media Terstruktur (sarang tawon)

Gambar 2.3 Pembobotan terhadap beberapa tipe media biofilter

Sumber: (Said & Ruliasih, 2005)

Adapun kriteria perencanaan biofilter anaerobik dan aerobik adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerobik-Aerobik

Parameter	Satuan	Nilai
Beban BOD per satuan permukaan media (LA)	g BOD/m ² .hari	5-30
Beban BOD per m ³ media	Kg BOD/m ³ .hari	0,5-4
Waktu tinggal total rata-rata	Jam	6-8
Tinggi ruang lumpur	M	0,5
Tinggi bed media pembiakan mikroba	M	1,2
Tinggi air diatas bed media	Cm	20

Sumber : (Said & Firly, 2005)

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

A. Perhitungan Biofilter Anaerobik

- Beban BOD dalam air limbah = Q limbah x BOD *inlet*
- Volume media yang diperlukan

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

- Volume reaktor yang diperlukan = $\frac{100}{60} \times \text{Volume media}$

- Waktu tinggal didalam reaktor

$$T_d = \frac{\text{Volume reaktor}}{Q}$$

- Dimensi reaktor

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

- Dimensi media

$$V \text{ media} = P \times L \times H$$

- BOD loading per volume media = $\frac{\text{Beban BOD dalam air limbah}}{\text{volume media}}$

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

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

- Produksi *sludge* = $\frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering x densitas lumpur}}$

- Pipa *outlet* anaerobik

$$\text{Diameter pipa outlet} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

B. Perhitungan Biofilter Aerobik

- Beban BOD dalam air limbah = Q limbah x BOD *inlet*

- Volume media yang diperlukan

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

- Volume reaktor yang diperlukan = $\frac{100}{60} \times \text{Volume medi}$

- Waktu tinggal didalam reaktor

$$T_d = \frac{\text{Volume reaktor}}{Q}$$

- Dimensi reaktor

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

- Perhitungan ruang aerasi dan ruang media

$$V \text{ media} = P \times L \times H$$

- BOD loading per volume media = $\frac{\text{Beban BOD dalam air limbah}}{\text{volume media}}$
- BOD loading (jika media memiliki luas spesifik 150 m²/m³)
= $\frac{\text{BOD loading per volume media}}{\text{Luas spesifik media}}$
- Produksi *sludge* = $\frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering x densitas lumpur}}$

2.3.7 Bak Sedimentasi 2 (*Clarifier*)

Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. *Clarifier* sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja *Clarifier* biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis. Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif.

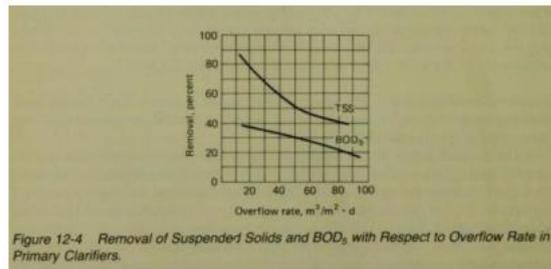
Pada unit *Clarifier* terjadi pengadukan lambat. Jenis pengadukan lambat pada *Clarifier* adalah jenis pengadukan hidrolis memanfaatkan piringan berlubang. Fungsi dari piringan berlubang yaitu untuk memecah aliran dalam menciptakan efek pengadukan. Pada proses pengadukan lambat, energi hidrolis yang dibutuhkan cukup kecil agar menghasilkan gerakan air yang mendorong kontak antar partikel tanpa menyebabkan terpisahnya gabungan flok yang telah terbentuk. Penggabungan inti gumpalan sangat tergantung pada gradien kecepatan (Anhar et al., 2021).

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman *Clarifier* rata-rata 10-15 feet. *Clarifier* yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (*sludge blanket*) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).

Berikut ini adalah kriteria perencanaan unit *Clarifier* :

Zona Pengendapan (Settling Zone)

- i. Over Flow Rate (OFR)
 - Average = 30-50 m³/m².hari
 - Peak = 70-130 m³/m².hari



Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

ii. Waktu Tinggal (Td) = 0,6-3,6 jam

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

iii. Dimensi

- Rectangular

• Panjang (L) = 10-100 m

• Lebar (W) = 3-24 m

• Kedalaman (H) = 2,5-5 m

• P : L = 1-7,5 : 1

• P : H = 4,2-25 : 1

- Circular

• Diameter (D) = 3-60 m

• Kedalaman (H) = 3-6 m

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 271)

iv. Flight Speed = 0,02-0,05 m/menit

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, halaman 398)

v. %Removal TSS = 50%-70%

Sumber: (Huisman, 1977, Halaman 12)

vi. Weir Loading Rate = 125-500 m³/m².hari

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, halaman 401)

vii. Diameter Inlet Well = 15%-20% Diameter Bak

viii. Ketinggian Inlet Well = 0,5-0,7 m

ix. Kecepatan Inlet Well = 0,3-0,75 m/s

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, halaman 401)

- x. Bilangan Reynold = <1 (Aliran Laminar)
(NRe) untuk v_s
- xi. Bilangan Reynold = <2000 (Aliran Laminar)
(NRe) untuk v_h
- xii. Bilangan Freud (NFr) = $>10^{-5}$ (Mencegah Aliran Pendek)
(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)
- xiii. Specific Gravity = 1,3-1,5
Suspended Solid
Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, Halaman 411)
- xiv. Slope ke arah Zona *Sludge*
- Rectangular = 1%-2%
- Circular = 40-100 m/m
Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 274)
Konsentrasi Solid = 4%-12%
- xv. Cek NRe Partikel $< 0,5$
- xvi. Syarat terjadinya pengendapan ($T_p < T_d$)
- xvii. Syarat terjadinya penggerusan ($V_{sc} > V_h$)
- xviii. Suhu air buangan 28 °C, sehingga:
- Kinematic Viscosity = $8,004 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
(ν)
- Absolute Viscosity = $8,004 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
(μ)
- Massa Jenis (ρ) = $0,99626 \text{ g/cm}^3$
= $996,26 \text{ kg/m}^3$
Sumber: (Reynolds & Richards, 1996, Halaman 762)
- xix. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016
(Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017)
- xx. Kontrol penggerusan
- Faktor kisi porositas = 0,05
(β)

- Faktor fraksi = 0,03
hidrolis (λ)

Sumber: (Huisman, 1977, Halaman 57)

Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

i. Volatile Solid = 60%-90%

ii. Dry Solid = 3%-8%

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 428)

iii. Specific Gravity = 1,3-1,5

Suspended Solid

Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003, Halaman 411)

iv. Massa Jenis (ρ) = 0,99626 gr/cm³

= 996,26 kg/m³

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996. Halaman 762)

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

i. Luas Permukaan

$$A = \frac{Q}{\text{Over Flow Rate}}$$

Keterangan:

A = Luas Permukaan

Q = Debit Air Limbah

ii. Diameter Bak

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

Keterangan:

D = Diameter Bak

A = Luas Permukaan

iii. Cek Over Flow Rate

$$\text{Over Flow Rate} = \frac{Q}{A}$$

Keterangan:

Q = Debit Air Limbah

A = Luas Permukaan

iv. Cek Waktu Detensi

- Volume Zona Pengendapan

$$V = A \times H$$

Keterangan:

V = Volume Zona Pengendapan

A = Luas Permukaan

H = Tinggi Zona Pengendapan

- Waktu Sesuai Overflow Design

$$T_d = \frac{V}{Q}$$

Keterangan:

T_d = Waktu Detensi

V = Volume Zona Pengendapan

Q = Debit Air Limbah

v. Kecepatan Pengendapan (v_s)

$$v_s = \frac{H}{T_d}$$

Keterangan:

v_s = Kecepatan Pengendapan

H = Tinggi Zona Pengendapan

T_d = Waktu Detensi

vi. Kecepatan Horizontal (v_h)

$$v_h = \frac{D}{T_d}$$

Keterangan:

v_h = Kecepatan Horizontal

D = Diameter Bak

T_d = Waktu Detensi

vii. Jari-Jari Hidrolis (R)

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

Keterangan:

R = Jari-Jari Hidrolis

D = Diameter Bak

viii. Diameter Partikel (Dp)

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

Keterangan:

Dp = Diameter Partikel

v_s = Kecepatan Pengendapan

μ = *Absolute Viscosity*

S_g = Suspended Gravity Solid

ix. Cek Bilangan Reynold Partikel (NRe Partikel)

$$NRe \text{ Partikel} = \frac{D_p \times v_s}{\mu}$$

Keterangan:

NRe Partikel = Bilangan Reynold Partikel

Dp = Diameter Partikel

v_s = Kecepatan Pengendapan

μ = *Absolute Viscosity*

x. Cek Bilangan Reynold (NRe)

$$NRe = \frac{v_h \times r}{\mu}$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynold

v_h = Kecepatan Horizontal

r = Jari-Jari Bak

μ = *Absolute Viscosity*

xi. Cek Bilangan Freud (NFr)

$$NFr = \frac{v_h}{\sqrt{g \times H}}$$

Keterangan:

NFr = Bilangan Freud

v_h = Kecepatan Horizontal

g = Kecepatan Gravitasi Bumi

H = Tinggi Zona Pengendapan

xii. Cek Penggerusan/Kecepatan Scouring (v_{sc})

$$v_{sc} = \left[\left(\frac{8 \times \beta}{\lambda} \right) \times (Ss - 1) \times g \times Dp \right]^{1/2}$$

Keterangan:

β = Faktor Kisi

λ = Faktor Fraksi

Ss = Suspended Gravity Solid

g = Kecepatan Gravitasi Bumi

Dp = Diameter Partikel

Zona Inlet (Inlet Zone)

i. Diameter *Inlet* Wall (Diw)

$$Diw = 20\% \times \text{Diameter Bak}$$

ii. Luas Permukaan (A)

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

Keterangan:

A = Luas Permukaan

D = Diameter Bak

iii. Kecepatan air di *inlet* awal (V')

$$V' = \frac{Q}{A}$$

Keterangan:

V' = Kecepatan Air di Pipa *Inlet*

Q = Debit Air Limbah

A = Luas Permukaan

iv. Pipa *Inlet*

- Luas Penampang Pipa (A)

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

Keterangan:

A = Luas Penampang Pipa

Q = Debit Air Limba

V' = Kecepatan Air di Pipa *Inlet*

- Diameter Pipa (D)

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

Keterangan:

D = Diameter Pipa

A = Luas Penampang Pipa

v. Cek Kecepatan Aliran

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

Keterangan:

V = Kecepatan Aliran

Q = Debit Air Limbah

D = Diameter Bak

Zona Penipisan (Thickening Zone)

i. MLVSS dalam *Clarifier*

$$MLVSS_{AS} = \%Biological \times MLVSS_{Total}$$

ii. Massa Solid Total pada *Clarifier*

$$M_{Solid\ Total} = MLVSS_{Clarifier} \times V_{Clarifier}$$

iii. Kedalaman Zona Penipisan

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

Keterangan:

H = Tinggi Zona Penipisan

A = Luas Permukaan Bak

Zona Lumpur (Sludge Zone)

i. Removal TSS (output *Clarifier* menuju SDB)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \% \text{ Removal}))$$

Keterangan:

C_n = Removal TSS

C_o = *Influent* TSS

ii. Berat Solid

$$\text{Berat Solid} = (\text{Removal TSS} \times Q) + P_{\text{XMLSS}}$$

Keterangan:

Q = Debit Air Limbah

P_{XMLSS} = Produksi Lumpur

iii. Berat Air

$$\text{Berat Air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{Berat Solid}$$

iv. Berat Jenis Solid

$$S_g = (60\% \times S_g \text{ Volatile Solid}) + (40\% \times S_g \text{ Fixed Solid})$$

v. Berat Jenis *Sludge* (S_i)

$$S_i = (5\% \times \text{Berat Jenis Solid}) + (95\% \times \rho \text{ air})$$

vi. Volume Solid

$$V_{\text{Solid}} = \frac{\text{Berat Solid}}{S_g \text{ Solid}}$$

vii. Volume Air

$$V_{\text{Air}} = \frac{\text{Berat Air}}{\rho \text{ air}}$$

viii. Volume Lumpur

$$V_{\text{Lumpur}} = V_{\text{Air}} + V_{\text{Solid}}$$

ix. Berat *Sludge*

$$\text{Berat Sludge} = V_{\text{Lumpur}} \times S_i$$

x. Dimensi Ruang Lumpur

- Volume Ruang Lumpur

$$V_{\text{Ruang Lumpur}} = V_{\text{Lumpur}} \times \text{Periode Pengurasa}$$

- Kedalaman Ruang Lumpur)

$$V_{\text{Ruang Lumpur}} = \frac{1}{3} \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + (R \times r))$$

Keterangan:

H = Tinggi Zona Lumpur

R = Jari-Jari Permukaan Atas

r = Jari-Jari Permukaan Bawah

- Kedalaman Total *Clarifier*

$$H \text{ Clarifier} = H_{\text{Settling Zone}} + H_{\text{Thickening Zone}} + H_{\text{Sludge Zone}}$$

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

xi. Dimensi Pipa Penguras

- Debit Pengurasan

$$Q_p = \frac{V \text{ ruang lumpur}}{T_d}$$

- Luas Permukaan

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

- Diameter Pipa Penguras

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

Zona Outlet (Outlet Zone)

i. Panjang Weir (Lw)

$$L_w = \pi \times D \text{ Bak}$$

ii. Jumlah V Notch (n)

$$n = \frac{L_{\text{weir}}}{\text{Jarak V Notch}}$$

iii. Debit tiap V Notch

$$Q \text{ V Notch} = \frac{Q}{n}$$

iv. Tinggi peluapan melalui V Notch (H_{air})

$$Q \text{ V Notch} = \frac{8}{15} \times C_d \times \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{5/2}$$

Keterangan:

C_d = Koefisien Drag

H = Ketinggian Air

v. Luas Saluran Pelimpah

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

Keterangan:

A = Luas Saluran Pelimpah

Q = Debit Air Limbah

v = Kecepatan Aliran

vi. Dimensi Saluran Pelimpah

$$\begin{aligned}
H : W &= 1 : 2 \\
A &= H \times W \\
&= H \times 2H \\
&= 2H^2 \\
H \text{ Total} &= H + \textit{Freeboard}
\end{aligned}$$

Keterangan:

A = Luas Saluran Pelimpah

H = Tinggi Zona

W = Lebar Zona

L = Panjang Zona

vii. Pipa *Outlet* ke Badan Air

$$\text{Diameter Pipa (D)} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

Keterangan:

D = Diameter Pipa

A = Luas Saluran Pelimpah

2.3.8 *Sludge Drying Bed*

Sludge drying bed (SDB) merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari Sedimentasi, dan Biofilter Anaerobik-Aerobik. 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. *Sludge drying bed* merupakan metode pemisah air dari *sludge* yang dihasilkan bangunan pengolah air limbah yang paling sering digunakan di Amerika Serikat. *Sludge drying bed* secara umum digunakan untuk mengurangi kadar air kandungan biosolid dan lumpur/*sludge* yang mengendap. Setelah mengering, padatan akan dikuras dan selanjutnya dibuang menuju lokasi pembuangan (*landfill*) (Metcalf, 2003).

Keuntungan penggunaan *sludge drying bed* diantaranya adalah:

- a. Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan;

b. Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan;

c. Dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses Pengeringan.

Selain berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dengan penggunaan *sludge drying bed* seperti yang telah disebutkan di atas, *sludge drying bed* juga memiliki beberapa kerugian, di antaranya:

a. Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya;

b. Dibutuhkan lahan yang lebih luas;

c. Kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan *sludge* / lumpur.

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan *Sludge Drying Bed* adalah sebagai berikut :

- Volume *cake sludge*

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

Dengan :

P = kadar air

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

- Volume *bed*

$$V = V_i \times t_d$$

Dengan :

V_i = Volume cake sludge (m³)

t_d = waktu detensi (detik)

- Volume tiap *bed*

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

Dengan :

V = Volume *bed* (m³)

- Dimensi tiap *bed*

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

$$A = L \times W$$

Dengan :

$$V_b = \text{volume tiap bed (m}^3\text{)}$$

$$L = \text{panjang (m)}$$

$$W = \text{Lebar (m)}$$

Kedalaman total

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

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

Dengan :

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

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

- Volume air

$$V_a = \frac{\text{Volume cake sludge (Vi)} - \text{Volume padatan}}{\text{Jumlah bed}} \times td$$

2.4 Persen Removal Unit Pengolahan

Pada unit bangunan pengolah air limbah terdapat parameter yang akan diproses di dalamnya. Setiap bangunan mengolah parameter yang berbeda sehingga memiliki Removal yang berbeda. Persen Removal berarti besar persentase penghilangan dan / atau pembersihan dan / atau penghapusan nilai atau jumlah parameter dalam satuan persen (%).

Besar persen Removal unit pengolahan air limbah industri tahu dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 2.4 Persen Removal Unit Pengolahan

Unit Pengolahan	% Removal	Sumber
<i>Pre-Treatment</i>		
Bak Kontrol (Bar Screen & Pipa Inlet)	-	-
Bak Penampung	-	-
<i>Primary Treatment</i>		

Unit Pengolahan	% Removal	Sumber
Netralisasi	pH 6,5 – 9	(Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations & Processes in Environment Engineering
Bak Sedimentasi 1	TSS 50% - 70%	Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat SPALD-T, PUPR, Ditjen Cipta Karya, 2018 Hal 37.
	BOD 25% - 40%	Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat SPALD-T, PUPR, Ditjen Cipta Karya, 2018 Hal 37.
<i>Secondary Treatment</i>		
Biofilter Anaerobik	BOD 92%	(Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.7 N0.2 (2017). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerobik Media Plastik Bioball. Hal 55)
	COD 90%	(Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.7 N0.2 (2017). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerobik Media Plastik Bioball. Hal 55)
	TSS 95% - 98%	(Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter Studi Kasus

Unit Pengolahan	% Removal	Sumber
		Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean. Hal 9)
Biofilter Aerobik	BOD 90% - 95%	(Sumber: Said, Nusa Idaman. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Hal 305)
	COD 86% - 90%	(Sumber: 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)
<i>Secondary Clarifier</i>	TSS 40% 70%	Sumber: Metcalf and Edyy, 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition. Page 396
<i>Sludge Treatment</i>		
<i>Sludge Drying Bed</i>	-	-

2.5 Profil Hidrolis

Hal-hal yang perlu diperhatikan sebelum membuat profil hidrolis, antara lain :

2.5.1 Kehilangan Tekanan Pada Bangunan

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan.

2.5.2 Kehilangan Tekanan Pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup :

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan Cara yang mudah dengan monogram "Hazen William" Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.
- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, disini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S .
- c. Kehilangan tekanan pada pompa Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya.
- d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok Cara perhitungan juga dengan bantuan monogram.

2.5.3 Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air.

Perhitungan dapat dilakukan dengan cara :

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.
- b. Tambahkan kehilangan tekanan antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di clear well.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum clear well demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama.
- d. Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air