

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Limbah

Menurut Metcalf dan Eddy, 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.

Menurut Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014 mendefinisikan limbah 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).

Secara umum dapat dikemukakan bahwa limbah adalah hasil buangan yang berasal dari aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari, industri maupun tempat-tempat umum lainnya yang mengandung bahan-bahan yang membahayakan dalam kehidupan manusia serta mengganggu kelestarian hidup. Perlu adanya penanganan untuk mengurangi limbah tersebut, apabila tidak dilakukan pengolahan limbah terlebih dahulu akan berbahaya dan berdampak langsung terhadap lingkungan.

Limbah cair sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh dari limbah cair biasanya banyak dibuang di sungai, selokan, kamar mandi dan dianggap bentuknya yang cair sehingga mudah dibuang dengan dialirkan di berbagai tempat. Limbah cair yang berasal dari industri biasanya telah memiliki pengolahan limbah (IPAL) sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Limbah cair juga memiliki standar baku mutu untuk menetapkan kadar diperbolehkan limbah tersebut dibuang ke lingkungan.

2.2 Karakteristik Limbah

Industri pengolahan rumput laut termasuk cenderung memiliki kandungan air limbah yang tinggi organiknya, sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku mutu limbah cair. Dalam menentukan kualitas dari sebuah air dapat ditinjau berdasarkan kandungan yang ada didalamnya. Adapun beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui kandungan sebuah air adalah sebagai berikut.

2.2.1 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

BOD atau Biochemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi secara biokimia zat-zat organik. Hasil dari tes BOD digunakan untuk menghitung perkiraan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan zat organik secara biologi, untuk menentukan dimensi atau ukuran dari unit pengolahan, untuk menghitung efisiensi beberapa proses pengolahan dan melakukan pengolahan sehingga parameter air limbah dapat sesuai dengan baku mutu.

Ketika oksigen yang dibutuhkan tercukupi, dekomposisi biologis air limbah secara aerobik akan terus terjadi sampai semua limbah dikonsumsi. Tiga atau lebih proses yang berbeda akan berlangsung. Pertama, 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, hydrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel.

2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand atau COD adalah jumlah bahan organik yang ada pada air limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan/larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal

tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat.

Hubungan antara COD dan BOD mempengaruhi proses pengolahan air limbah. Rasio BOD/COD dari air limbah adalah berkisar dari 0.3 sampai 0.8. Dimana jika rasio $BOD/COD \geq 0.5$ maka air limbah dapat diolah menggunakan proses biologi. Sedangkan jika rasio $BOD/COD < 0.3$ maka tidak dapat diolah menggunakan proses biologis karena memungkinkan terdapat banyak senyawa racun yang dapat membunuh bakteri.

2.2.3 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid atau total padatan tersuspensi adalah padatan yang tersuspensi pada air limbah yang mengandung bahan organik dan anorganik yang dapat disaring dengan kertas milipore berukuran pori-pori 0,45 μm . Padatan yang tersuspensi memiliki dampak buruk pada kualitas air karena menghalangi penetrasi matahari terhadap badan air, dan menyebabkan kekeruhan air meningkat karena terganggunya pertumbuhan organisme (Das, Akibat, & Limbah, 2013).

2.2.4 Amonia Total

Kandungan amonia dalam air dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan organisme dalam perairan. Secara kimia, keberadaan amonia dalam air berupa amonia terlarut (NH_3) dan ion amonium (NH_4^+). Amonia bebas (NH_3) yang tidak berionisasi akan bersifat toksik. Kadar amonia bebas meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan suhu perairan. Sifat toksik pada amonia dipengaruhi oleh pH, suhu, dan kadar oksigen terlarut. Kondisi amonia pada pH rendah akan bersifat racun jika jumlahnya banyak, sedangkan amonia pada pH tinggi juga akan bersifat racun meskipun jumlahnya rendah. Penurunan kadar oksigen terlarut akan meningkatkan toksisitas amonia dalam perairan (Al Kholif, 2007).

2.2.5 Chlor Bebas

Chlorine yang terdapat dalam air sebagai asam hipoklorit dan ion hipoklorit itulah yang disebut dengan chlorine bebas (free available chlorine), sedangkan chlorine yang terdapat dalam air yang tergabung dalam ammonia atau senyawa nitrogen organik disebut chlorine terikat (combined available chlorin). Parameter kontrol kualitas air limbah dalam chlorinasi adalah sisa chlor bebas yang harus ada setelah pengolahan atau sebelum masuk kedalam bagan air yang berguna untuk menjamin kualitas secara bakterologis, artinya air yang keluar dari kran konsumen terbebas dari kuman maupun bakteri pathogen seperti *Escherechia coli* (Winarno, 1986).

Reaksi klor dengan air akan menghasilkan Asam Hipoklorit (HOCl) dengan reaksi sebagai berikut :



terjadi reaksi antara gas klor dengan air yang mengakibatkan pH air akan menurun karena dihasilkan ion H^+ .

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Asrydin (2012), penurunan kadar sisa klor bebas akan berkurang selama perjalanan air sampai ke bagan air. Hal itu disebabkan oleh daya kerja klor aktif selama perjalanan, kontak dengan mikroorganisme penyebab kontaminasi air dan jaringan pipa yang tidak efisien karena terjadi kehilangan air yang disebabkan oleh kebocoran.

2.2.6 Derajat Keasaman

pH merupakan parameter kualitas yang penting bagi air baku dan air limbah. Ukuran konsentrasi pH yang cocok bagi semua kehidupan biologis bisa dibilang sangat kecil dan kritis yaitu diantara 6 hingga 9. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses penjernihannya. pH yang baik bagi air minum dan air limbah dalam netral (7). Semakin kecil nilai pHnya, maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam (Sugiharto, 1987).

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan Pengolahan air buangan mempunyai kelompok tingkat pengolahan, yaitu:

1. Pengolahan pendahuluan (Pre-treatment)
2. Pengolahan pertama (Primary-treatment)
3. Pengolahan kedua (Secondary-treatment)
4. Pengolahan lumpur (Sludge-treatment)

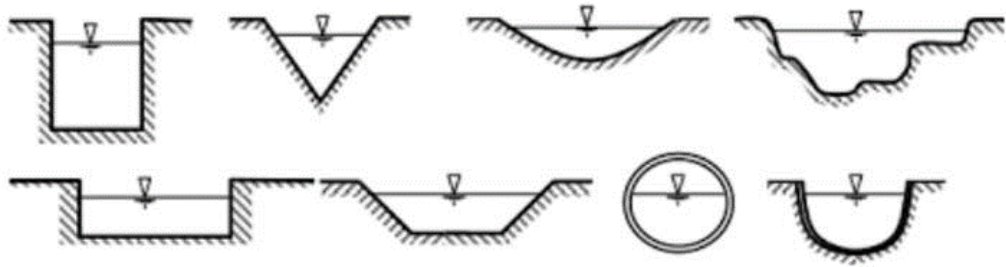
2.3.1 Pengolahan Pendahuluan (Pre-treatment)

Proses pretreatment merupakan proses yang bertujuan untuk mempermudah proses pengolahan selanjutnya dengan menyaring sampah sampa terapung yang ikut terbawa air. Misalnya seperti menghilangkan kerikil, lumpur, padatan dan memisahkan lemak. Selain itu, pretreatment juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari pabrik menuju instalasi pengolahan air limbah. Unit pretreatment yang digunakan yaitu sebagai berikut.

a. Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang mengalirkan air dari suatu bangunan ke bangunan pengolahan limbah lainnya. Saluran pendukung ini biasanya terbuat dari dinding beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran terbuka terbuka dan tertutup. Saluran ini dapat mengalirkan air dengan memperhatikan perbedaan ketinggian atau elevasi antar bangunan satu dengan bangunan lainnya. Kemiringan/slope (m/m) diperlukan jika saluran pembawa ini berada diatas lahan yang datar.

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.

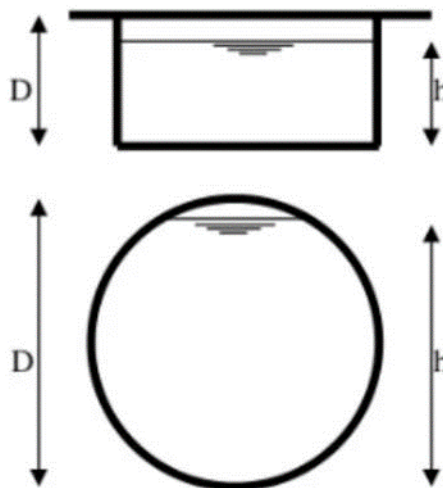


Gambar 2.1 Bentuk-bentuk Saluran Terbuka

Sumber: https://emodul.untad.ac.id/pluginfile.php/198/mod_resource/content/1/rek_sun-mod5.pdf

Saluran terbuka berfungsi menyalurkan limbah dari outlet limbah proses pengolahan industri menuju ke inlet bak penampung. Terdapat 2 jenis saluran pembawa yaitu saluran terbuka dan saluran tertutup berupa pipa.

Sedangkan saluran tertutup (pipe flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh 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 yaitu aliran pada saluran terbuka.



Gambar 2.2 Bentuk – bentuk Saluran Tertutup

Sumber : [Aliran Seragam pada Saluran Terbuka \(Hidrolika\) \(slideshare.net\)](#)

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut:

1. Luas Permukaan

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

v = kecepatan air fluida dalam saluran pembawa (m/s)

Sumber: (Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

2. Kedalaman Salurann Pembawa

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

Keterangan :

H = kedalaman saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = lebar permukaan saluran pembawa (m)

H_{total} = H + (10% - 30% x H)

Keterangan:

H_{total} = kedalaman total saluran pembawa (m)

H = kedalaman saluran pembawa (m)

Fb = 10% - 30% H

Sumber: (Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

3. Slope Saluran Pembawa

$$H = \frac{v^2}{2 \times g}$$

Keterangan:

h = kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

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

g = percepatan gravitasi (m/s²)

H_f = n x L

Keterangan :

H_f = headloss saluran pembawa (m)

N = koefisien manning bahan

L = panjang saluran pembawa (m)

$S = h_{\text{statis}} \times H_f$

Keterangan:

S = slope saluran pembawa (m)

h = kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

H_f = headloss saluran pembawa (m)

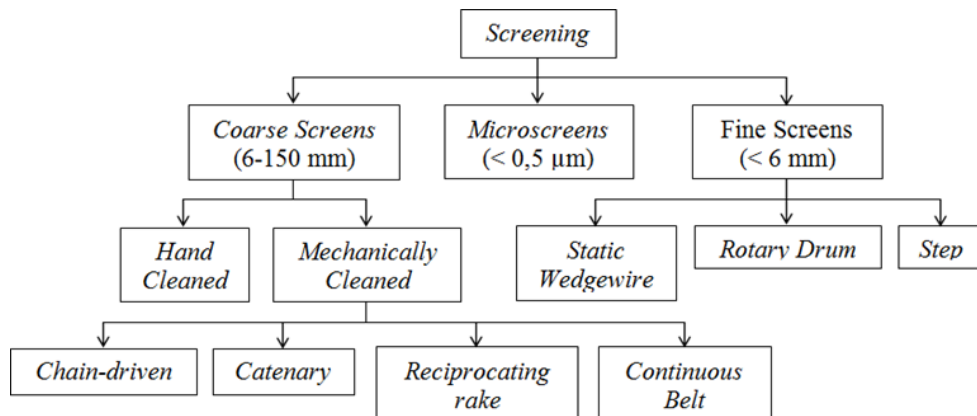
4. Cek Kecepatan

$$V = \frac{V^2}{2 \times g}$$

b. Bar Screen

Screening atau saringan dilakukan pada tahap paling awal dalam proses pengolahan air limbah. Secara umum, proses screening dilakukan untuk memisahkan berbagai benda padat yang ada pada air limbah seperti kertas, plastik, kayu, kain, dan benda padat lainnya. Benda-benda tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pemompaan dan unit peralatan pemisah lumpur serta sistem perpiaan jika tidak dipisahkan terlebih dahulu dalam air limbah (Said, 2017). Tujuan dari unit ini adalah untuk menahan sampah/benda-benda padat besar yang terbawa dalam lumpur tinja agar tidak mengganggu dan mengurangi beban pada sistem pengolahan selanjutnya (Dirjen Cipta karya, 2013).

Screening diklasifikasikan menjadi 3, ditunjukkan pada gambar 2.1. Didalamnya terdapat batang paralel, batang atau kawat, kisi-kisi, kasa kawat, atau pelat berlubang, dan bukaan dapat berbentuk apapun tetapi umumnya adalah slot melingkar atau persegi panjang. Screen yang terdiri dari batang atau batang paralel sering disebut “bar rack” atau coarse screen dan digunakan untuk menghilangkan padatan kasar. (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2.3 Bagan Jenis – Jenis Screen

Sumber : Metcalf & Eddy, 2004

1. Coarse Screen (Penyaring Kasar)

Penyaring kasar atau coarse screen digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh sampah yang berukuran 6-150 mm. Pembersihan penyaring kasar dapat secara manual dengan memanfaatkan tenaga manusia atau dengan mekanis. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industri kecil ataupun sedang. Sampah padat yang berukuran sedang atau besar di saring dengan sederet baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran. Screening dengan pembersihan secara mekanik, bahan nya terbuat dari stainless steel atau dari plastik.



Gambar 2.4 Coarse Screen Penyaringan Kasar

Sumber : *Inclined Mechanical Coarse Bar Screen For Municipal Wastewater Treatment - Buy Multi-rake Coarse Bar Screen, Multiple Rake Bar Screen Mechanical Wastewater Filtration, Mechanical Rotary Trash Rake Bar Screens Waste Water Treatment Plant Product on Alibaba.com*

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan Coarse Screen

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

Sumber: (Metcalf and Eddy. 2003. “Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse”, 4th edition, McGraw-Hill, Inc., New York, St Fransisco, Auckland)

2. Fine Screen (Penyaring Halus)

Fine screen atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel partikel yang berukuran kurang dari 6 mm. Screen ini dapat di gunakan untuk pengolahan pendahuluan (Pre-Treatment) maupun pengolahan pertama atau utama (Primary Treatment). Penyaring halus (Fine Screen) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (Premilinary Treatment) adalah seperti, ayakan kawat (static wedgewire), drum putar (rotary drum), atau seperti anak tangga (step type). Penyaring halus (Fine Screen) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/primary clarifier) pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m³/dt. Screen tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS.

BOEEP



Gambar 2.5 Fine Screen

Sumber : [*Fine Screens at Wastewater Treatment Plant' S Headworks Design Projects - China Fine Screening and Automatic Fine Screen \(made-in-china.com\)*](#)

Tabel 2.2 Klasifikasi Fine Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inchi	Mm		
Miring (Diam)	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainles steel	Pengolahan Primer
Drum (Berputar)	Kasar	0,1 – 0,2	2,5 - 5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainles steel	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari	Pengolahan Primer

				stainless steel	
	Halus		$6 \times 10^{-3} - 35 \times 10^{-3}$	Stainless steel dari kain polyester	Menyisihkan residual dari suspended solid sekunder
Horizontal Reciprocating	Sedang	0,06-0,17	1,6 - 4	Batangan stainless steel	Gabungan dengan saluran air hujan
Tangential	Halus	0,0475	1,2	Jala-jala yang terbuat dari stainless steel	Gabungan dengan saluran air Hujan

Sumber : (Metcalf and Eddy. 2003. "Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse", 4th edition, McGraw-Hill, Inc., New York, St Fransisco, Auckland)

3. Micro Screen

Microscreens berfungsi untuk menyaring padatan halus, yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Prinsip dari microscreens ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/detik, sehingga bahan padatan bahan padatan yang tertahan di depan tidak terjepit. Jarak antar batang adalah 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut persegi empat, dengan panjang berukuran 10 mm x 50 mm.



Gambar 2.6 Micro Screen

Pada unit pengolahan ini menggunakan bar screen jenis penyaringan kasar atau coarse screen. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini sebagai berikut.

1. Jumlah batang/kisi

$$Ws = nx d + (n + 1) \times R$$

Keterangan:

Ws = lebar saluran pembawa atau lebar *screen* (m)

n = jumlah batang/kisi

d = lebar batang (m)

r = jarak antar batang (M)

2. Lebar bukaan kisi

$$Wc = Ws - n \times d$$

Keterangan:

Wc = lebar bukaan kisi (m)

Ws = lebar saluran pembawa atau lebar *screen* (m)

n = jumlah batang/kisi

d = lebar batang (m)

3. Panjang Kisi

$$X = \frac{y}{\sin \theta}$$

Keterangan :

x = panjang kisi (m)

$\sin \theta$ = kemiringan *screen*

y = kedalaman total saluran pembawa atau tinggi *screen* (m)

4. Cek kecepatan setelah melalui kisi

$$X = \frac{Q}{W_c \times h}$$

Keterangan :

v_i = kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

Q = debit (m³/s)

W_c = lebar bukaan kisi (m)

5. Headloss pada bar screen

Ketika non clogging

$$h_L = \frac{1}{C} \times \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

Keterangan :

h_L = Headloss saat clean screen

C = koefisien discharge (0,7 untuk clean screen)

V^2 = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

v^2 = kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

Ketika Clogging

$$h_L = \frac{1}{C} \times \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

Keterangan :

h_L = Headloss saat clean screen

C = koefisien discharge (0,6 untuk clean screen)

V^2 = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

v^2 = kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

c. Bak Penampung

Tujuan dari menampung air limbah di bak penampung yakni untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah yang diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya.

Cara kerja daripada bak penampung ini adalah, ketika air limbah yang

keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air limbah dialirkan ke bak penampung. Disini debit air limbah diatur. Agar dapat memenuhi kriteria perencanaan untuk unit bangunan selanjutnya.

Rumus perhitungan yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

1. Volume bak penampung

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan :

V = Volume bak penampung (m^3)

Q = debit (m^3/s)

T_d = waktu detensi (s)

2. Dimensi bak penampung

$$V = L \times B \times H$$

Keterangan :

V = Volume bak penampung (m^3)

L = panjang bak penampung (m)

B = lebar bak penampung (m)

H = kedalaman bak penampung (m)

3. Ketinggian total bak penampung

$$H_{total} = H + (10\% - 30\% \times H)$$

Keterangan:

H_{total} = kedalaman bak (m)

H = ketinggian air dalam bak penampung (m)

$Freeboard$ = 5% - 30%

2.3.2 Pengolahan Primer (Primary Treatment)

a. Netralisasi

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 diantara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi

netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas buffer yang terjadi karena ada produk CO₂ dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam.

Larutan dikatakan asam bila : $H^+ > H^-$ dan $pH < 7$

Larutan dikatakan netral bila : $H^+ = H^-$ dan $pH = 7$

Larutan dikatakan basa bila : $H^+ < H^-$ dan $pH > 7$

Ada beberapa cara menetralkan kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti :

- Pencampuran limbah
- Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur.
- Pencampuran limbah asam dengan Slurry kapur.
- Penambahan sejumlah NaOH, Na₂CO₃ atau NH₄OH ke limbah asam.
- Penambahan asam kuat (H₂SO₄, HCl) dalam limbah basa.
- Penambahan CO₂ bertekanan dalam limbah basa.
- Pembangkitan CO₂ dalam limbah basa.

1. Mencampur air limbah yang bersifat asam dengan basa

Jenis netralisasi ini tergantung dari macam-macam bahan basa yang digunakan. Magnesium adalah bahan basa yang sangat reaktif dalam asam kuat dan digunakan pada pH di bawah 4,2. Netralisasi dengan menggunakan bahan basa dapat didefinisikan berdasarkan faktor titrasi dalam 1 gram sampel dengan HCl yang dididihkan selama 15 menit kemudian dititrasi lagi dengan 0,5 N NaOH dengan menggunakan phenolphthalein sebagai buffer. Mencampurkan bahan-bahan basa dapat dilakukan dengan pemanasan maupun pengadukan secara fisik. Untuk bahan yang sangat reaktif, reaksi terjadi secara lengkap selama 10 menit. Bahan-bahan basa lainnya yang dapat digunakan sebagai netralisasi adalah NaOH, Na₂CO₃ atau NH₄OH.

Banyak bahan asam kuat yang efektif digunakan untuk menetralkan air limbah yang bersifat basa, biasanya yang digunakan adalah sulfuric atau hydrochloric acid.

Asap gas yang terdiri dari 14 % CO₂ dapat digunakan untuk netralisasi dengan melewati gelembung-gelembung gas melalui air limbah CO₂ ini terbentuk dari karbonik acid yang dapat bereaksi dengan basa. Reaksi ini lambat tapi cukup untuk mendapatkan pH antara 7 hingga 8. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan spray tower. Adapun beberapa sistem yang digunakan untuk bangunan netralisasi ini adalah:

- Sistem batch, yang digunakan untuk aliran air limbah hingga 380 m³/hari
- Sistem continue, dengan pH control dibutuhkan udara untuk pengadukan dengan minimum aliran air 1-3 ft³/mm, ft² atau 0,3-0,9 m³/mm, m² pada kedalaman 9 ft (2,7 m). Menggunakan sistem pengadukan mekanis, dimana daya yang digunakan 0,2- 0,4hp/ribu.gal (0,04 - 0,08 kW/m³)
(Wesley Eckendfelder, 2000)

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

A. Bak Pembubuh

- Dosis NaOH

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

- Kebutuhan NaOH

$$\text{NaOH} = \text{Dosis NaOH} \times Q \text{ air limbah}$$

- Kebutuhan air pelarut

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

- Volume total

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

Keterangan:

$$Q = \text{debit air}$$

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

b. Koagulasi - Flokulasi

Kogulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi dengan penambahan senyawa kimia yang dinamakan zat koagulan sehingga dapat membentuk flok-flok yang dapat diendapkan. Dalam kondisi stabil partikel koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik-menarik antar partikel lebih kecil daripada gaya tolak-menolak akibat dari muatan listrik. Dalam proses koagulasi yang terjadi secara destabilisasi membentuk partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi partikel yang lebih besar. Dengan demikian partikel koloid yang awalnya sukar dengan air, setelah proses koagulasi partikel koloid tersebut akan membentuk kumpulan partikel atau flok yang lebih besar sehingga memudahkan pemisahan flok pada proses selanjutnya yaitu sedimentasi. Bahan kimia yang umumnya digunakan untuk proses koagulasi dibagi menjadi tiga golongan, yaitu zat koagulan, zat alkali, dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan merupakan bahan kimia yang digunakan untuk menggumpalkan partikel-partikel tersuspensi, zat warna, koloid, dan lain sebagainya agar membentuk flok atau gumpalan partikel yang lebih besar. Sedangkan zat alkali dan zat pembantu

koagulan merupakan zat yang memiliki fungsi untuk membantu proses pembentukan flok agar dapat berjalan lebih cepat dan baik, selain itu juga fungsi zat alkali dan zat pembantu koagulan dapat mengatur kondisi pH dalam keadaan stabil pada air baku sehingga dapat menunjang proses pada flokulasi (Said, 2017). Proses koagulasi ini merupakan proses dasar pengolahan air untuk menghilangkan partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi. Dalam proses tersebut terdapat pengadukan dalam pengolahan air limbah, diantaranya adalah pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Pengadukan cepat (*flash mixing*) bertujuan untuk mempercepat penyebaran bahan kimia (koagulan) melalui air limbah. Koagulan yang paling efektif untuk digunakan dalam pengadukan cepat adalah alum dan *ferric chloride* karena proses hidrolisnya berjalan lebih cepat yang selanjutnya akan mengalami adsorpsi partikel koloid. Sedangkan pada pengadukan lambat untuk proses kecepatan penyebaran koagulan lebih lama dibandingkan pada proses *flash mixing*. Koagulan yang umum digunakan dalam proses koagulasi adalah PAC, alumunium sulfat, feri sulfat, dan ferro sulfat (Syaiful, Jn, & Andriawan, 2014).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi adalah sebagai berikut (Rahimah, Heldawati, & Syauqiah, 2016):

a. Suhu air

Apabila suhu dalam air rendah maka akan berpengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi dan besarnya daerah pH optimum pada proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.

b. Derajat keasaman (pH)

Proses koagulasi dapat berjalan dengan baik apabila didukung dengan keadaan pH yang optimum.

c. Jenis koagulan

Jenis koagulan yang digunakan dilihat dari segi ekonomi dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan yang efektif digunakan biasanya dalam bentuk koagulan larutan dibandingkan dengan koagulan dalam bentuk serbuk.

d. Kecepatan pengendapan

Dalam pengadukan hal yang terpenting adalah proses kecepatan dalam mencampur bahan kimia (koagulan) dengan air baku secara merata sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel koloid. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan lambat maka yang terjadi flok terbentuk dengan lambat dan sebaliknya apabila terjadi pengadukan cepat maka flok dengan cepat akan terbentuk namun bisa berakibat flok akan pecah.

e. Kadar ion terlarut

Pengaruh ion yang terlarut terhadap proses koagulasi adalah adanya anion yang lebih besar daripada kation. Hal tersebut mengakibatkan ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

f. Tingkat kekeruhan

Pengaruh kekeruhan dalam air limbah terjadi apabila tingkat kekeruhan rendah maka proses destabilisasi akan sukar terhadap air, begitupun sebaliknya tingkat kekeruhan tinggi akan mempengaruhi proses destabilisasi secara cepat.

g. Dosis koagulan

Pembentukan flok terjadi karena faktor dari dosis koagulan yang dibubuhkan. Bila pembubuhan koagulan sesuai dengan kebutuhan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan flok akan berjalan dengan baik. Dalam proses koagulasi-flokulasi pengadukan merupakan operasi yang mutlak

diperlukan. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sedangkan pengadukan lambat berperandalam upaya penggabungan flok. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012).

Pengadukan terdiri dari beberapa jenis dan tipe. Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukannya. Berdasarkan kecepatan pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi:

1. Pengadukan cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012). Waktu pengadukan cepat dari 20-60 detik, dengan gradien kecepatan 700-1000/s. Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan *baffle basins* (Reynold, 1996).

2. Pengadukan lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012). Waktu pengadukan cepat dari 15-30 menit, dengan gradien kecepatan 20-70/s. Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik dan pengadukan hidrolis (Reynold, 1996). Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi:

a. Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motorbertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller*, yaitu *paddle*

(pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling).

- Paddle impeller

Paddle impeller biasanya memiliki dua atau empat *blades*. Blades dapat berbentuk pitch atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter paddle impeller biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar paddle biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak paddle yaitu 50% dari diameter diatas dasar tangki. Kecepatan paddle berkisar antara 20-150 rpm. Paddle impeller tidak seefisien turbin, karena tidak menghasilkan banyak turbulensi dan gaya geser (Reynold, 1996).

- Propeller impeller

Propeller impeller memiliki dua atau tiga *blades*. Pitch didefinisikan sebagai jarak cairan bergerak secara aksial selama satu revolusi. Biasanya pitch adalah 1,0 atau 2,0 dan diameter propeller maksimum 18 inchi. Kecepatan propeller biasanya 400-1750 rpm. Agitator propeller sangat efektif dalam tangki besar, karena kecepatan tinggi (Reynold, 1996). Power yang dihasilkan dari berbagai impeller dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan yang di kembangkan oleh Rushton. Daya tangki tidak sama, sesuai dengan nilai konstanta impeller, K_T dan K_L .

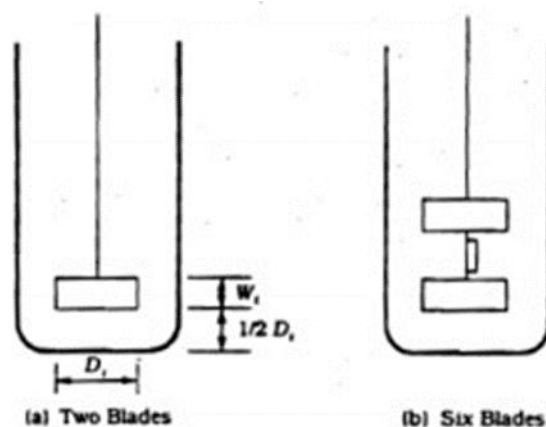
Tabel 2.3 Konstanta K_T dan K_L

Jenis Impeller	K_T	K_L
Propeller, pitch of 1,3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan Turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65
Shroude turbine, 6 curved blades	97,5	1,08

Shroude turbine, eith stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), $D_i/W_i = 4$	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades $D_i/W_i = 6$	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades $D_i/W_i = 8$	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 8$	71,0	3,82

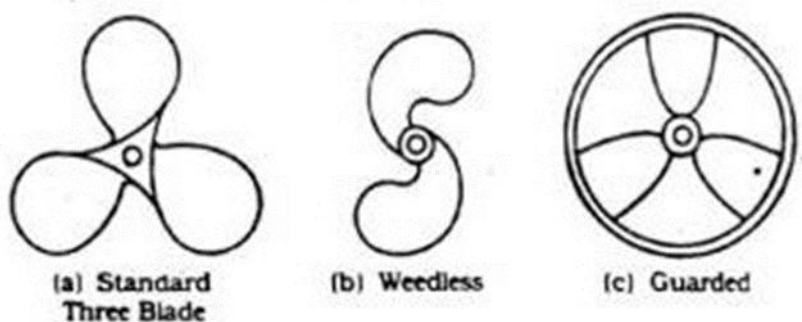
Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 188. Boston: PWS Publishing Company

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam kurun waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam pengadukan mekanis yaitu gradien kecepatan (G) dan td . Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II, dan G di kompartemen III yang paling kecil. Pengadukan mekanis umumnya digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe *paddle* yang dimodifikasi hingga membentuk roda (*paddle wheel*), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



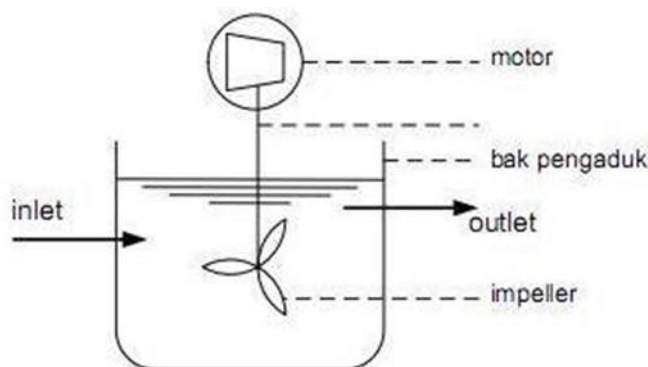
Gambar 2.7 Tipe Paddle Impeller

Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 188. Boston: PWS Publishing Company



Gambar 2.8 Tipe Propeller Impeller

Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 188. Boston: PWS Publishing Company



Gambar 2.9 Pengadukan Cepat dengan Pengaduk Mekanis

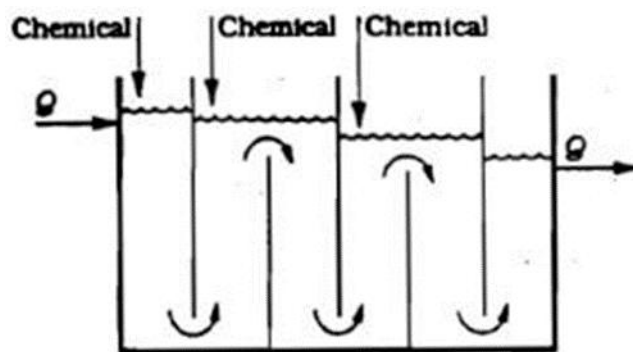
Sumber: Masduqi, Ali dan Abdu F. Assomadi. 2016. *Operasi & Proses Pengolahan Air Edisi Kedua*, hal 296. Surabaya: ITS Press

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam kurun waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam pengadukan mekanis yaitu gradien kecepatan (G) dan td . Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II, dan G di kompartemen III yang paling kecil. Pengadukan

mekanis umumnya digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe *paddle* yang dimodifikasi hingga membentuk roda (*paddle wheel*), baik dengan posisi horisontal maupun vertikal.

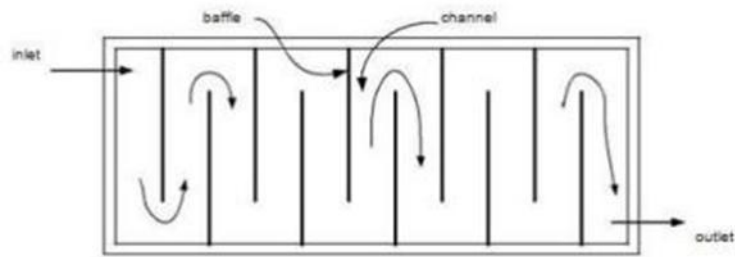
b. Pengadukan hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolik, dan *parshall flume*. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat/*baffle channel*, *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya.



Gambar 2.10 Baffle Basin Rapid Mixing

Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards, 1996.

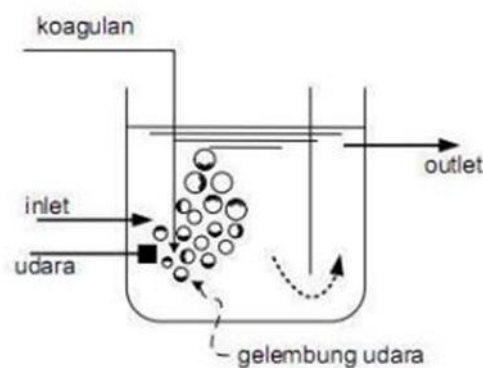


Gambar 2.11 Baffle Channel untuk Pengadukan Lambat

Sumber: Masduqi, Ali dan Abdu F. Assomadi. 2016

c. Pengadukan pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.



Gambar 2.12 Pengadukan Cepat Pneumatis

Sumber: Masduqi, Ali dan Abdu F. Assomadi. 2016

Kriteria Bak Koagulasi antara lain :

1. Waktu detensi (td) = 20 – 60 detik (Reynold. Hal 182)

2. Gradien kecepatan (G) = 700-1000/detik (Reynold. Hal 182)
3. Tinggi bak (H) = 1 – 1,25 lebar bak (Reynold. Hal 184)
4. Jarak impeller dari dasar = 30 - 50% diameter impeller (Reynold. Hal 184)
5. Kecepatan turbin impeller= 10 – 150 rpm (Reynold. Hal 184)
6. Diameter turbin impeller = 30 – 50% diameter atau lebar bak (Reynold. Hal 185)
7. Lebar impeller = 1/6 – 1/10 m (Reynold. Hal 185)
8. $N_{re} > 10000$ Turbulen (Reynold. Hal 187)
9. Dosis alum = 250 mg/l (Eckenfelder. Hal 132)
10. Kadar alum = 15-22% (Qasim Hal 236 pdf)
11. ρ alum = 960-1010 kg/m³ (Reynold. Hal 175)

Kriteria Bak Flokulasi antara lain sebagaicberikut :

1. Waktu detensi (t_d) = 30 – 60 menit
2. Gradien kecepatan (G) = 50 – 100/detik (*Metcalf & Eddy hal. 348*)
3. Freeboard = 5-30%
4. $N_{re} > 10000$ Turbulen
(Sumber : Reynold, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. Hal 194 – 199)
5. Viskositas absolut (μ) = 0,8004 x 10⁻³ N.s/m²
6. Kecepatan pengadukan = 20 – 150 rpm (Reynold. Hal 184)
7. Jarak impeller dari dasar = 30 - 50% diameter impeller (Reynold. Hal 184)
8. Tinggi Bak Flokulasi = 1 – 1,25 Lebar
Bak (*Tom D. Reynold Hal 184 – 187*)

Rumus Perhitungan Bak Koagulasi :

1. Volume total bak koagulasi
Volume total = Volume limbah + volume Bak Pembubuh
Dengan :

Volume Limbah = volume limbah yang masuk (m^3)

Volume bak pembubuh = volume dari bak pembubuh untuk penambahan koagulan (m^3)

2. H Total

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

Dengan :

H total = Ketinggian total bangunan (m)

H = Ketinggian air (m)

Fb = Freeboard (m)

3. Daya Pengadukan

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

Rumus Perhitungan Bak Flokulasi

1. Volume bak Flokulasi

$$\text{Volume} = Q \times Td$$

Dengan :

Q = debit yang masuk (m^3/s)

Td = waktu tinggal (s)

2. H total

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

Dengan :

H total = Ketinggian total bangunan (m)

H = Ketinggian air (m)

Fb = Freeboard (m)

3. Cek Td

$$Td = V / Q$$

Dengan :

V = Volume bak flokulasi (m^3)

Q = Debit di bak flokulasi (m^3/s)

4. Daya Pengadukan

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

c. Bak Pengendap I

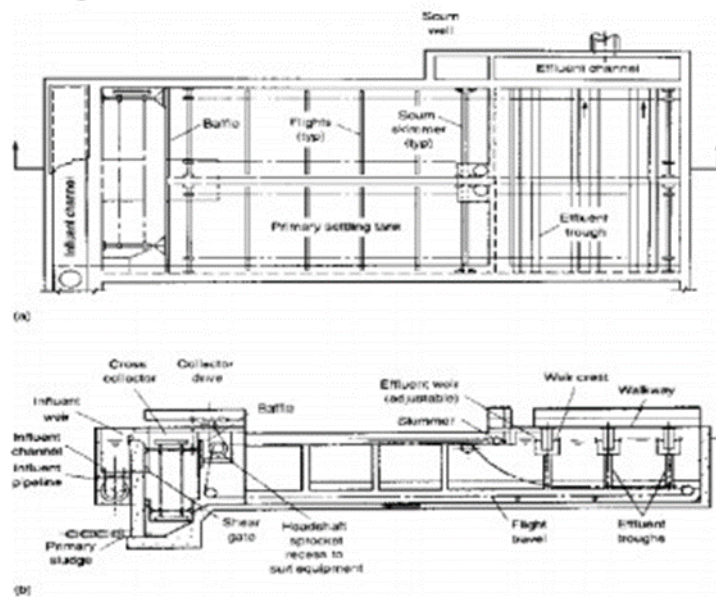
Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan koagulasi-flokulasi (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012).

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid tanpa bantuan bahan kimia, 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 I ada beberapa jenis yaitu:

1. Rectangular

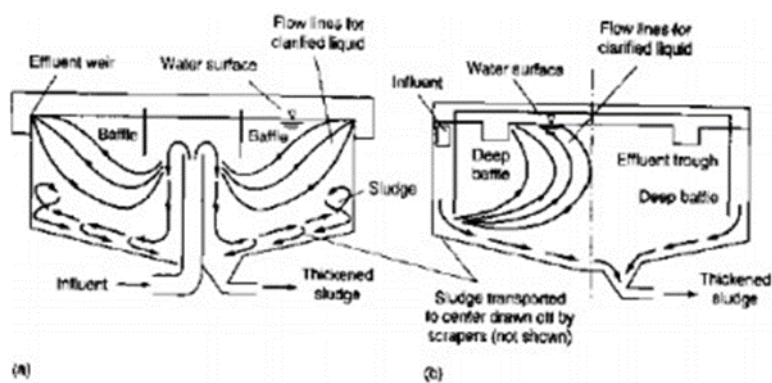


Gambar 2.13 Denah dan Potongan Sedimentasi Rectangular

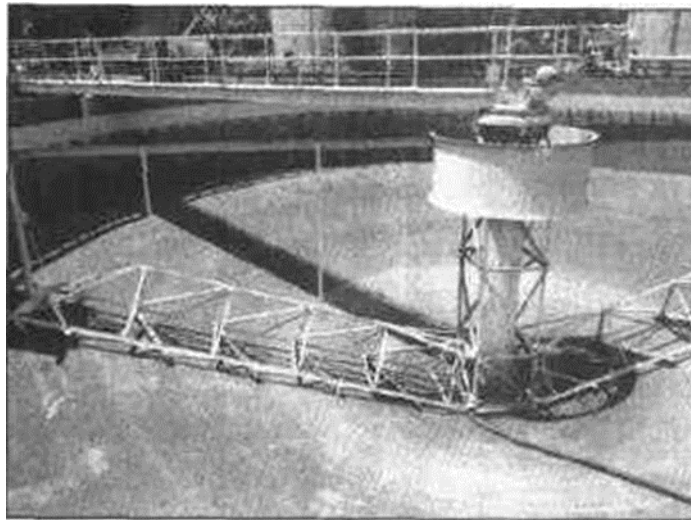
Karena distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003):

- Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan,
- Saluran inlet dengan port dan orifice,
- Saluran inlet dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*

2. Circular



Gambar 2.14 Potongan Bak Pengendap Circular



Gambar 2.15 Detail Inlet Well dan Scraper

Pada tangki *circular* pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur sirkular yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumur biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1-2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial (Metcalf & Eddy, 2003).

Kriteria - kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: *Surface Loading* (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, 2003)

Tabel 2.4 Kriteria Perencanaan Sedimentasi Tipe 1

Item	U.S customary units			SI Units		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Waktu Tinggal	Jam	1,2-1,2	2	Jam	1,5-1,2	2
Rata-rata	Gal/ft ² s	800-1200	1000	m ³ /m ² s	30-50	40
Item	U.S customary units			SI Units		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical

Puncak	Gal/ft ² s	2000-3000	2500	m ³ /m ² s	80-120	100
Item	US Customary units			SI units		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Weir loading	Gal/ft ² s	10000-40000	20000	m ³ /m ² s	125-500	250
Waktu tinggal	Jam	1,5-2,5	2	Jam	1,5-2,5	2
Rata-rata	Gal/ft ² s	600-800	1000	m ³ /m ² s	24-32	28
Puncak	Gal/ft ² s	1200-1700	1500	m ³ /m ² s	48-70	60
Weir Loading	Gal/ft ² s	10000-40000	20000	m ³ /m ² s	125-500	250

Sumber : *Metcalf & Eddy, 2003*

Rumus Perhitungan dari bak pengendap 1 adalah sebagai berikut :

Zona Settling

- Luas Surface Area (A)

$$A = \frac{Q}{\text{Over flow rate}}$$

- Diameter

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

- Cek luas *Surface Area* (A)

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

- Kedalaman Bak (H)

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

- Cek overflow rate (OFR)

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

- Volume bak

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

- Cek waktu tinggal (Td)

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

- Kecepatan pengendapan partikel (Vs)

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

- Cek Nre untuk Vs

$$= \frac{\rho s \times Dp \times vs}{\mu}$$

- Kecepatan horizontal di bak (Vh)

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

- Jari jari hidrolis (R)

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

- Cek bilangan Froude (NFr)

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

- Cek bilangan Reynold (Nre)

$$Nre = \frac{Vh \times r}{\nu}$$

- Cek kecepatan penggerusan (vsc)

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

Zona Inlet

- Diameter inlet well (D')

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

- Luas penampang pipa (A)

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

- Diameter pipa

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

- Cek kecepatan pipa inlet (V)

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

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*)

$P = \% \text{Biological}$ yang tetap dalam biofilter anaerobik-aerobik
 Massa solid total = $P \times \text{Total massa solid pada bak biofilter}$

- Kedalaman zona thickening

$$(H) = \frac{M_{\text{solid total}}}{X.A}$$

Zona Sludge

- Total lumpur yang terkumpul (T_L)

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

- Total berat lumpur pada bak

$$(T_{LM}) T_{LM} = T_L + M.\text{Solid}$$

total Keterangan:

$$T_L = \text{total lumpur yang terkumpul}$$

- Volume lumpur pada

$$\text{bak } (V_L)$$

$$(V_L) = \frac{T_{LM}}{X}$$

Keterangan :

$$T_{LM} = \text{total berat lumpur pada bak}$$

- Debit Lumpur

$$(Q_L) = \frac{V_L}{\text{Waktu Pengurasan}}$$

- Volume air

$$\text{Vol air} = 95\% \times V_L$$

Keterangan:

$$V_L = \text{volume lumpur}$$

- Berat air

$$\text{Berat air} = \text{Vol.air} \times \text{Berat jenis air}$$

- Volume solid

$$\text{Vol.Solid} = 5\% \times V_L$$

Keterangan:

V_L = volume lumpur

- Berat solid

Berat solid = Vol.Solid x Berat jenis solid

- Dimensi ruang lumpur

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

- Kedalaman total sedimentasi

(clarifier) $H_{Total} = H_{Settling} +$

$H_{Thickening} + H_{Sludge}$

Perhitungan Headlos Pompa

- Perhitungan Suction

Headloss mayor :

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

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

Headloss minor:

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

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Perhitungan Discharge

Headloss mayor

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

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

Headloss minor:

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

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Perhitungan Head total pompa

$$H = H_f \text{ suction total} + H_f \text{ discharge total}$$

Perhitungan head total

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

Zona Outlet Sedimentasi

- Panjang keliling weir

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

- Jumlah V Notch setiap pelimpahan (weir)

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

- Tinggi pelimpah setelah melalui V-notch

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

- Luas permukaan saluran pelimpah

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

Keterangan:

Q_{in} = debit awal

v = kecepatan saluran

- Dimensi saluran pelimpah

$$A = 2H \times H$$

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

$$B = 2 \times H$$

Keterangan:

H = tinggi saluran

Pipa outlet Sedimentasi

- Luas Penampang Pipa (A)

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

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran pipa

- Diameter pipa outlet

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

Keterangan:

A = luas bak

- Cek kecepatan pipa outlet

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

Keterangan:

Q = debit air

A = luas penampang pipa

- Cek Headloss mayor (Hf mayor)

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

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

- Headloss minor:

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

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Headloss total (H_f Total)

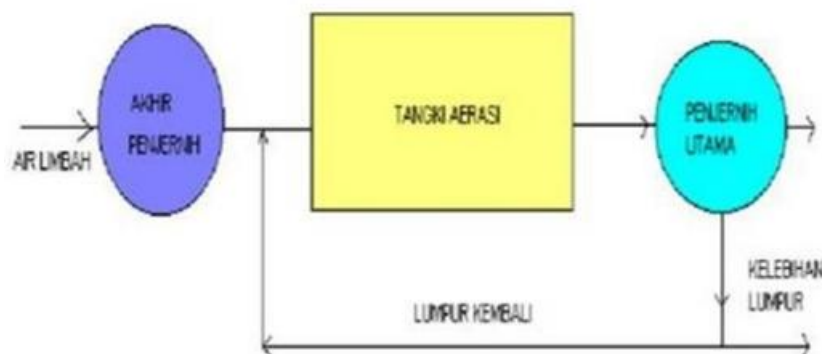
$$H_f = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$$

2.3.3 Pengolahan Sekunder (Secondary Treatment)

Untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 dan H_2O , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi. Adapun proses didalam activated sludge, yaitu:

1. Konvensional

Pada sistem konvensional terdiri dari tanki aerasi, secondary clarifier dan recycle sludge. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi dan oksidasi bahan organik.



Gambar 2.16 activated sludge sistem konvensional.

- Tangki Aerasi

Pada saat oksidasi aerobik material organik dilakukan dalam tangki ini, Efluent pertama masuk dan tercampur dengan Lumpur Aktif Balik (Return Activated Sludge =RAS) atau disingkat LAB membentuk lumpur campuran (mixed liquor), yang mengandung padatan tersuspensi sekitar 1.500-2.500 mg/l. Aerasi dilakukan secara mekanik. Karakteristik proses lumpur aktif adalah adanya daur ulang dari biomassa. Keadaan ini membuat waktu tinggal sel (biomassa) menjadi lebih lama dibanding waktu tinggal hidrauliknya (Sterritt dan Lester, 1988). Keadaan ini membuat sejumlah

besar mikroorganisme mengoksidasi senyawa organik secara singkat. Waktu tinggal di tangki aerasi berkisar 4 - 8 jam.

- Tangki Sedimentasi

Tangki ini digunakan untuk sedimentasi flok mikroba (lumpur) yang dihasilkan selama fase oksidasi dalam tangki aerasi. Seperti disebutkan diawal bahwa sebahgian dari lumpur dalam tangki penjernih didaur ulang kembali dalam bentuk LAB kedalam tangki aerasi dan sisanya dibuang untuk menjaga rasio yang tepat antara makanan dan mikroorganisme (F/M Ratio). Parameter yang umum digunakan dalam lumpur aktif (Davis dan Cornwell, 1985; Verstraete dan van Vaerenbergh, 1986) adalah sebagai berikut:

- Mixed-liquor suspended solids (MLSS)

Isi tangki aerasi dalam sistem lumpur aktif disebut sebagai mixed liquor yang diterjemahkan sebagai lumpur campuran. MLSS merupakan jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk didalamnya adalah mikroorganisma. MLSS ditentukan 25 dengan cara menyaring lumpur campuran dengan kertas saring (filter), kemudian filter dikeringkan pada temperatur 1050C, dan berat padatan dalam contoh ditimbang.

- Mixed-liquor volatile suspended solids (MLVSS)

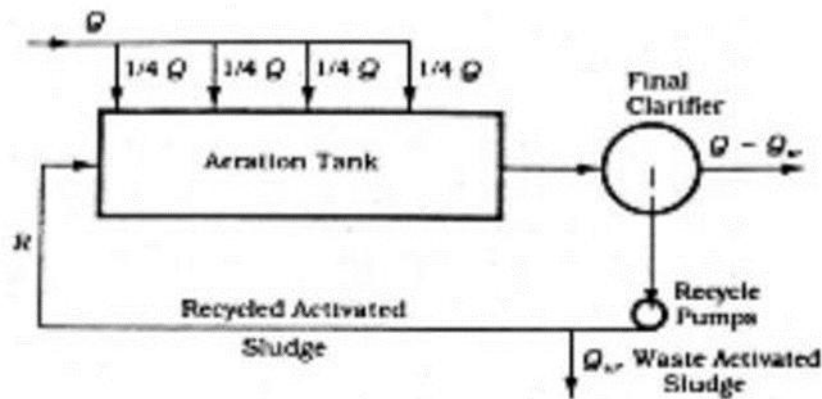
Porsi material organik pada MLSS diwakili oleh MLVSS, yang berisi material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan hancuran sel (Nelson dan Lawrence, 1980). MLVSS diukur dengan memanaskan terus sampel filter yang telah kering pada 600 - 6500C.

- Food to microorganism ratio (F/M Ratio)
- Parameter ini merupakan indikasi beban organik yang masuk kedalam sistem lumpur aktif dan diwakili nilainya dalam kilogram BOD per kilogram MLSS per hari (Curds dan Hawkes, 1983; Nathanson, 1986).

2. Non Konvensional

- a. Step Aeration

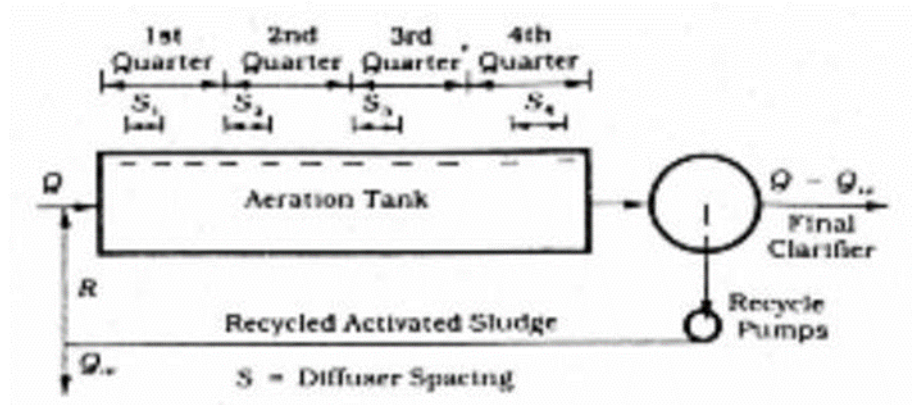
- Merupakan type plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju outlet.
- Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik ditanki aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen titik yang paling awal.
- Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.



Gambar 2.17 Step Aerasi

b. Tapered Aeration

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



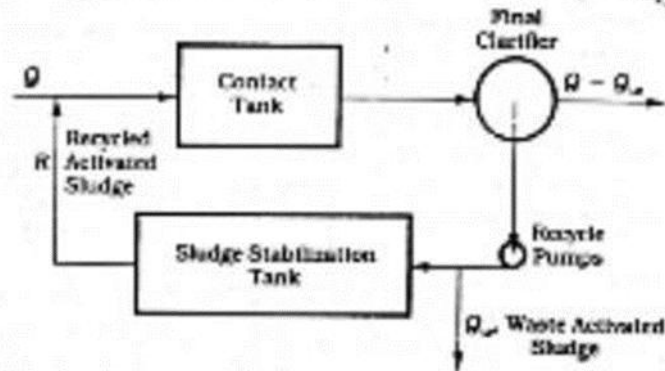
Gambar 2. 18 Tapered Aeration

c. Contact Stabilization

Pada sistem ini terdapat 2 tanki yaitu :

- Contact tank yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.

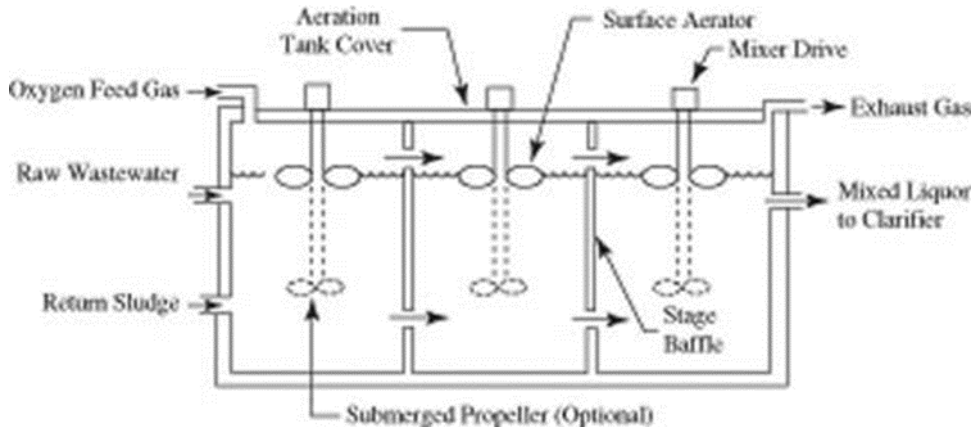
- Reaeration tank yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengasorb (proses stabilisasi).



Gambar 2.19 Contact Stabilization

d. Pure Oxygen

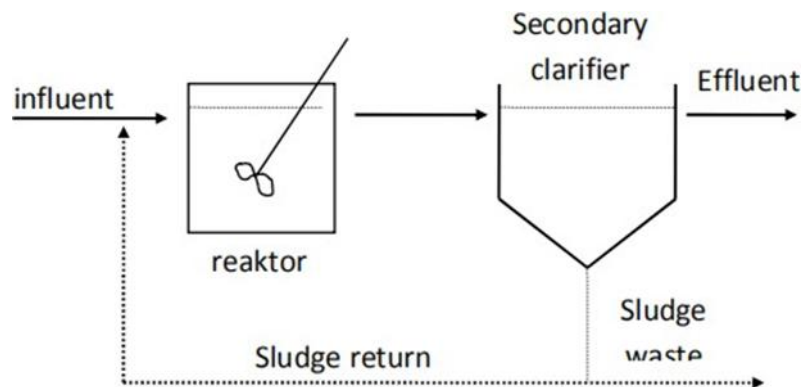
Oksigen murni diinjeksikan ke tanki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan td pendek.



Gambar 2.20 Pure Oxygen

e. High Rate Aeration

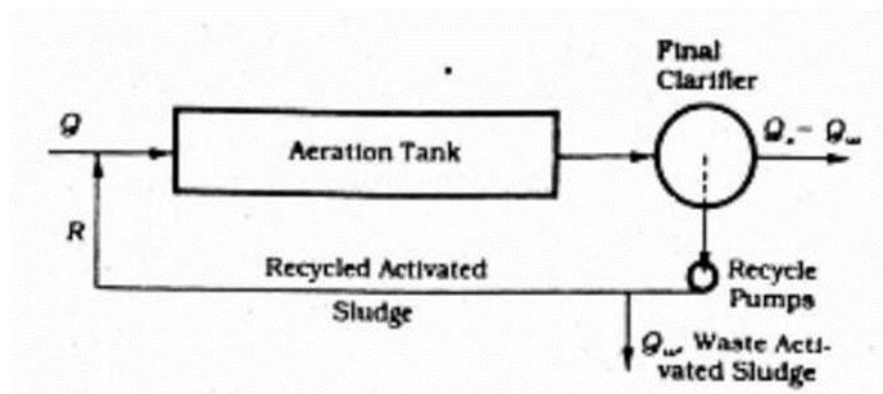
Kondisi ini tercapai dengan meningkatkan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 - 5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar.



Gambar 2.21 High Rate Aeration

f. Extended Aeration

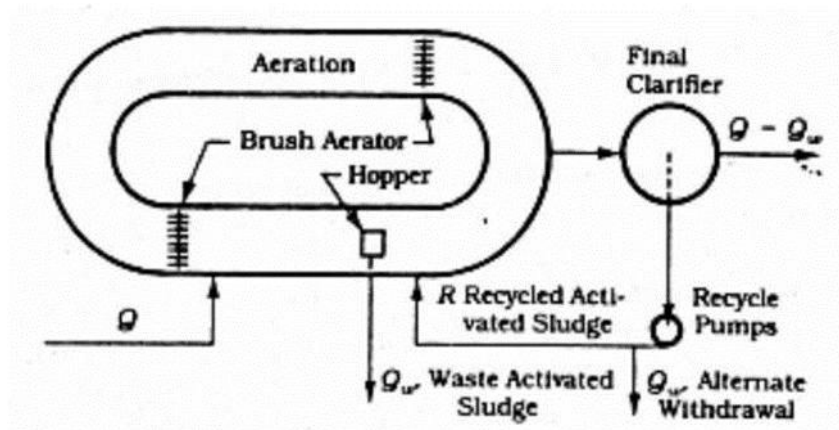
Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan time detention (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.



Gambar 2.22 Extended Aeration

g. Oxydation Ditch

Bentuk oksidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. Proses dari oxydation ditch dapat di lihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.23 Oxydation Ditch

Kriteria Desain Activated Sludge dalam perencanaan kali ini adalah sebagai berikut :

- Umur lumpur (θ_c) = 5 – 15 hari
- Waktu detensi = 4-8 jam
- MLSS (X) = 1500-3000 mg/L
- Rasio resirkulasi (R) = 0,25-1

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 429)

- F/M Ratio = 0,3-0,8 kg BOD₅/kg VSS.d

(Sumber: Marcos von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors, Biological Wastewater Treatment Series, Volume Five, hal 19)

- Yield Coefficient (Y) = 0,4 – 0,8 mg VSS/mg BOD₅
- Endogenous Respiration Coefficient (K_d) = 0,06 – 0,15 g VSS/g VSS.d
- Coefficient k = 2 – 10 g bsCOD/g VSS.d
- Coefficient k_s = 25-1000 mg/L BOD

(Metcalf& Eddy, Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, Third edition, 1991, hal 585)

- Rasio VSS/SS = 0,70 – 0,85

(Sperling MV, Biological Wastewater Treatment : Wastewater Characteristic, Treatment and Disposal, page 21)

- MLVSS (X_v) = 1500 – 3000 mg/L
- MLSS (X) = 1200 – 4000 mg/L
- Rasio Resiskulasi (R) = 0,25 – 0,5
- Safety Factor = 1,75 – 2,5

(Metcalf& Eddy, Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, Third edition, 1991, hal 686)

- Tinggi bak = 3-5,6

(Metcalf& Eddy, Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, Third edition, 1991, hal 687)

Rumus Perhitungan yang ada di Activated Sludge adalah sebagai berikut :

Perhitungan X_r

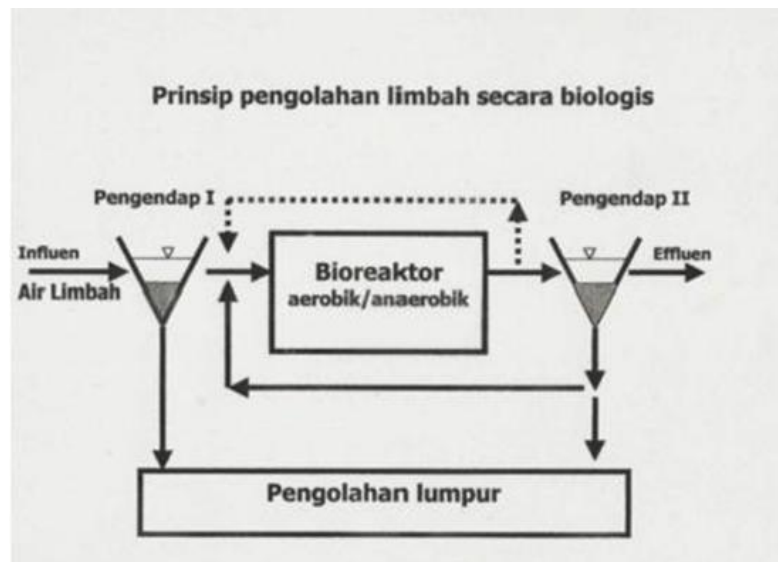
- $SVI = \frac{Volume \times 1000 \text{ mg/L}}{MLSS}$
- $X_r = \frac{10^6}{SVI}$
- BOD teremoval = $C_o \times \% \text{teremoval}$
- BOD lolos (C_r) = $C_o - \text{BOD teremoval}$
- Rasio Resirkulasi (R) = $\frac{X_v}{X_r - X_v}$
- Debit Resirkulasi (Q_r) ; mengikuti data yang direncanakan menggunakan 2 bak
 $Q_r = Q_o \times R$
- Debit yang masuk ke bak Activated Sludge
 $Q_a = Q_o + Q_r$
- Konsentrasi BOD dalam Bak Activated Sludge (C_a)
 $C_a = \frac{(C_o \times Q) + (Q_r \times C_r)}{(Q + Q_r)}$
- Volume Bak Activated Sludge (V)
 $V = \frac{Q_a \times \theta_c \times F \times (C_a - C_r)}{X \times (+ (K_d \times \theta_c))}$
- Kuantitas lumpur yang dihasilkan setiap hari (Y_{obs})
 $Y_{obs} = \frac{Y}{1 + (K_d \times \theta_c)}$
 Massa Lumpur Aktif (P_x)
- $P_x = Y_{obs} \times Q_a \times (C_a - C_r)$
 Kontrol F/M = $\frac{Q_{influent} \times C_a}{Vol \times X}$

2.3.4 Pengolahan Tersier (Tertiary Treatment)

a. Bak Pengendap II

Bak pengendap II (*secondary clarifier*) berfungsi untuk memisahkan lumpur aktif dari *activated sludge* dari MLSS. Lumpur yang mengandung bakteri yang masih aktif akan diresirkulasi kembali ke *activated sludge* dan lumpur yang mengandung bakteri yang sudah mati atau tidak aktif lagi dialirkan ke pengolahan lumpur. Langkah ini (pengolahan lumpur) merupakan langkah terakhir untuk

menghasilkan effluen yang stabil dengan konsentrasi BOD dan *suspended solid* (SS) yang rendah.



Gambar 2.24 Skema Bak Pengendap II dari Lumpur Aktif

Faktor-faktor lain yang menjadi pertimbangan dalam mendesain bak pengendap kedua (*secondary clarifier*) antara lain :

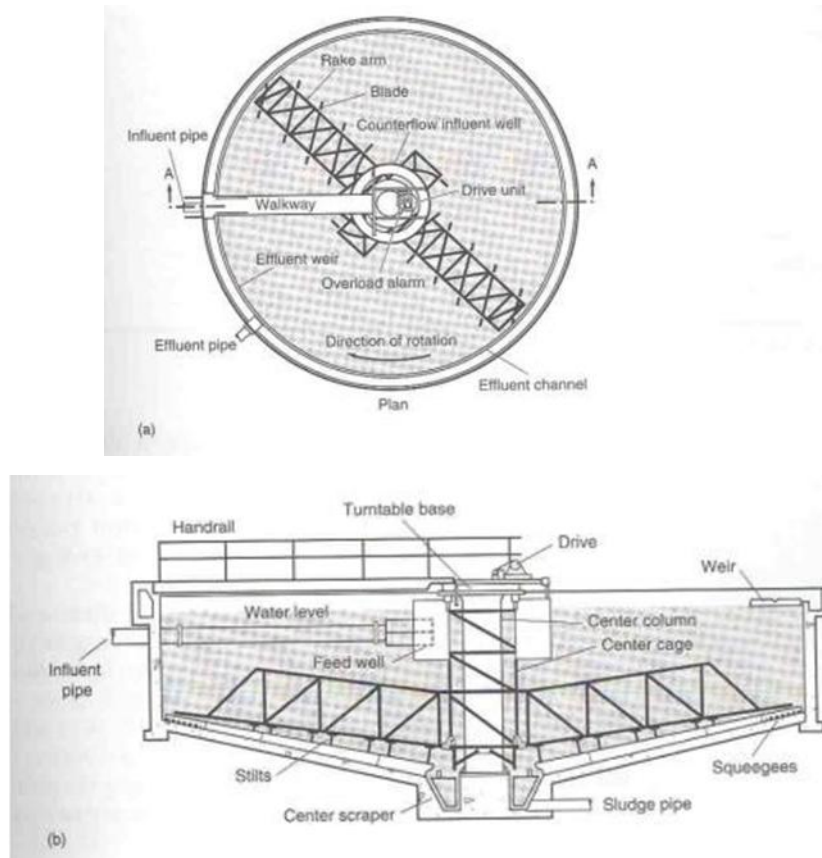
- a. tipe tangki yang digunakan
- b. karakteristik pengendapan lumpur
- c. *surface loading rate* atau *solid loading rate*
- d. penempatan dan *weir loading rate*

Berdasarkan operasionalnya, bak pengendap kedua memiliki 2 (dua) fungsi, yaitu :

1. Memisahkan MLSS dari air buangan yang diolah
2. Memadatkan *sludge return*

Bak pengendap II merupakan proses dari *activated sludge* yang operasinya merupakan sistem *continuous mixed-flow*. Berdasarkan jenis tangkinya, dapat dibedakan menjadi 2 (dua) bentuk, yaitu *rectangular* (segi empat atau persegi panjang) dan *circular* (lingkaran). Masing-masing bentuk ini mempunyai kelebihan masing-masing dan ditempatkan pada kondisi yang khusus, artinya seorang *engineer* haruslah mempunyai insting yang kuat,

apakah bentuk melingkar atau segi empat yang harus dirancangnya. Salah satu pertimbangan dalam menentukan bentuk bak sedimentasi tersebut adalah adanya ketersediaan lahan, dan ada tidaknya dana. Untuk tangki sedimentasi melingkar jika ditinjau secara teknis dan operasional jauh lebih menguntungkan tetapi memerlukan biaya yang tidak sedikit dalam merancangnya, karena banyaknya fasilitas yang berada di dalamnya



Gambar 2.25 Circular Secondary Clarifier

Di dalam tangki melingkar, aliran masuk menuju ke pusat tangki atau ke sebelah sisi tangki. Jika diameter tangki kurang dari 30 ft (9.14 m), pipa inlet akan masuk melalui dinding dan mengarah ke bawah. Jika tangki lebih besar dari 30 ft (9.14 m), pipa masuk melalui bawah tangki dan debit air tegak lurus menuju pusat *baffle*. Kedalaman *clarifier* melingkar dipertimbangkan pada kedalaman bagian samping tangki, dan dikenal dengan sebutan *side water depth* (swd). Kedalaman ini digunakan untuk menentukan waktu detensi dan volume tangki.

Outlet untuk tangki melingkar terdiri dari suatu *weir* di sekitar batas luar yang

menyebarkan aliran menjadi seragam. *Center-feed* pada *clarifier* yang melingkar yang digunakan pada pengolahan air limbah mempunyai penggaruk lumpur secara mekanik (*mechanical sludge rakes*) yang terletak di bagian bawah dan penggaruk permukaan (*surface skimming*) yang terletak di bagian atas.

Kriteria Desain untuk bangunan Clarifier antara lain sebagai berikut :

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

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

5. Waktu detensi = 1,5 – 2,5 jam
6. Over flow rate
7. Average = 30 – 50 m³/m².hari
8. Peak = 80 – 120 m³/m².hari
9. Weir loading = 125 – 500 m³/m² hari

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

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

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

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

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

12. Konsentrasi solid = 4% - 12%

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

13. Massa jenis air (ρ), $T = 28^{\circ}\text{C} = 0,99626 \text{ g/cm}^3 = 9,962 \text{ kg/L}$

14. Viskositas kinematik (ν) $= 0,8394 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

15. Viskositas dinamik (μ) $= 0,8363 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2$

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

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

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

17. Spesific gravity sludge (S_g) $= 1,005$

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

18. Bilangan Reynold (NRE) untuk $V_h = < 2000$ (aliran laminar)

19. Bilangan Froude (N_{fr}) $= > 105$

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

20. Ketinggian inlet well $= 0,5 - 0,7 \text{ m}$

21. Kecepatan inlet well $= 0,3 - 0,75 \text{ m/s}$

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

Rumus perhitungan di Bak Pengendap 2 antara lain sebagai berikut :

Zona Settling

Zona Settling

- Luas Surface Area (A)

$$A = \frac{Q}{\text{Over flow rate}}$$

- Diameter

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

- Cek luas *Surface Area* (A)

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

- Kedalaman Bak (H)

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

- Cek overflow rate (OFR)

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

- Volume bak

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

- Cek waktu tinggal (Td)

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

- Kecepatan pengendapan partikel (Vs)

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

- Cek Nre untuk Vs

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

- Kecepatan horizontal di bak (Vh)

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

- Jari jari hidrolis (R)

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

- Cek bilangan Froude (NFr)

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

- Cek bilangan Reynold (Nre)

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

- Cek kecepatan penggerusan (vsc)

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

Zona Inlet

- Diameter inlet well (D')

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

- Luas penampang pipa (A)

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

- Diameter pipa

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

- Cek kecepatan pipa inlet (V)

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

Zona Thickening Sedimentasi

- Total massa solid dalam bak biofilter anaerobik-aerobik

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

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

$$P = \% \text{Biological yang tetap dalam biofilter anaerobik-}$$

$$\text{aerobik} \text{ Massa solid total} = P \times \text{Total massa solid pada}$$

$$\text{bak biofilter}$$

- Kedalaman zona thickening

$$(H) = \frac{M_{\text{solid total}}}{X.A}$$

Zona Sludge

- Total lumpur yang terkumpul (T_L)

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

- Total berat lumpur pada bak

$$(T_{LM}) T_{LM} = T_L + M.\text{Solid}$$

total Keterangan:

$$T_L = \text{total lumpur yang terkumpul}$$

- Volume lumpur pada

bak (V_L)

$$(V_L) = \frac{T_{LM}}{\dots}$$

Keterangan :

T_{LM} = total berat lumpur pada bak

- Debit Lumpur

$$(Q_L) = \frac{V_L}{Waktu\ Pengurasan}$$

- Volume air

$$Vol\ air = 95\% \times V_L$$

Keterangan:

V_L = volume lumpur

- Berat air

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

- Volume solid

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

Keterangan:

V_L = volume lumpur

- Berat solid

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

- Dimensi ruang lumpur

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

- Kedalaman total sedimentasi

$$(clarifier) H\ Total = H_{Settling} +$$

$$H_{Thickening} + H_{Sludge}$$

Perhitungan Headlos Pompa

- Perhitungan Suction

Headloss mayor :

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

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

Headloss minor:

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

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Perhitungan Discharge

Headloss mayor

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

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

Headloss minor:

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

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Perhitungan Head total pompa

H = Hf suction total + Hf discharge total

Perhitungan head total

H total = Head statis + ΣH_f suction + ΣH_f discharge

Zona Outlet Sedimentasi

- Panjang keliling weir

$$P = \pi \times \text{diameter bak}$$
- Jumlah V Notch setiap pelimpahan (weir)

$$n \text{ Notch} = \text{Panjang keliling/jarak antar V notch}$$
- Tinggi pelimpah setelah melalui V-notch

$$Q \text{ v Notch} = \frac{8}{15} \times c_d \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\alpha}{2} \times H^{5/2}$$
- Luas permukaan saluran pelimpah

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

Keterangan:

$$Q_{in} = \text{debit awal}$$

$$v = \text{kecepatan saluran}$$
- Dimensi saluran pelimpah

$$A = 2H \times H$$

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

$$B = 2 \times H$$

Keterangan:

$$H = \text{tinggi saluran}$$

Pipa outlet Sedimentasi

- Luas Penampang Pipa (A)

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

Keterangan:

$$Q = \text{debit air}$$

$$v = \text{kecepatan aliran pipa}$$
- Diameter pipa outlet

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

Keterangan:

$$A = \text{luas bak}$$
- Cek kecepatan pipa outlet

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

Keterangan:

Q = debit air

A = luas penampang pipa

- Cek Headloss mayor (Hf mayor)

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

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

- Headloss minor:

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

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Headloss total (Hf Total)

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

b. Pengolahan Lumpur

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

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

solid). Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

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

Salah satu bangunan pengolahan lumpur adalah *sludge drying bed*. *Sludge drying bed* berfungsi untuk menampung lumpur pengolahan baik dari proses kimia (daf) maupun proses biologi, dan memisahkan lumpur yang bercampur dengan air dengan cara proses penguapan menggunakan energi penyinaran matahari.



Gambar 2.26 Sludge Drying Bed

Pengeluaran air lumpur dilakukan melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan *drying bed*.

Lumpur merupakan hasil akhir dari setiap instalasi pengolahan air limbah. Pada instalasi pengolahan air limbah yang menggunakan sistem lumpur aktif yang dihasilkan dalam bak sedimentasi sebagai *recycle* dan sebagian lagi dipompakan ke

bak pengering lumpur (*sludge drying bed*) lumpur yang ditumpahkan ke bak pengering lumpur biasanya mengandung kadar solid 10 % dan air 90 %.

Air yang meresap melewati lapisan penyaring, masuk ke pipa unser drain dan sebagian lagi menguap ke udara. Waktu pengeringan lumpur biasanya 3-4 minggu dengan ketebalan lapisan lumpur dalam bak pengering antara 15-25 cm. Semakin tebal lapisan lumpur, waktu pengeringan semakin lama apalagi ke dalam bak pengering lumpur yang sudah terisi lumpur masih dimasukkan lagi lumpur yang baru. Keadaan cuaca juga sangat mempengaruhi lamanya waktu pengeringan lumpur.

Kriteria Desain dari Sludge Drying Bed ini antara lain sebagai berikut :

1. Waktu pengeringan : 10 – 15 hari
2. Tebal sludge cake : 20 – 30 cm
3. Tebal pasir : 30 cm
4. Berat air dalam cake (Pi) : 20 – 60 %
5. Kadar solid : 60 %
6. Kadar Air : 40 %
7. Tebal sludge cake : 200 – 300 mm

(Sumber : *Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse, Metcalf & Eddy 4th edition*, hal 1570 -1573)

Rumus Perhitungan :

Volume lumpur tiap bed	$= \frac{\text{Volume Lum}}{\text{jumlah bed}}$
Volume cake sludge	$= \frac{\text{Volume lumpur tiap bed (1-P)}}{1-Pt}$
Volume sludge drying bed (Vb)	$= V_i \times T_d$
Dimensi tiap bed (A)	$= \frac{V_b}{\text{tebal cake}}$
Volume air	$= \frac{\text{Vol lumpur total} - V_i \times t_d}{\text{jumlah bed}}$
Kedalaman underdrain (H)	$= \frac{\text{Vol air}}{A}$

2.4 Persen Removal

Persen removal polutan pada bangunan yang telah disebutkan diatas tersaji

dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.5 Kemampuan Penyisihan Tiap Unit

Unit	Beban Pencemar	Range Kemampuan Penyisihan	Sumber
Bak Equalisasi	BOD	10 – 20 %	Reynold Hal.158
	COD	23 – 47 %	
Grease Trap	Minyak&Lemak	95%	Petunjuk Teknis Pengelolaan Limbah Cair Perhotelan DLH Surabaya Hal.29
Bak Pengendap 1	TSS	50% - 70%	Metcalf&Eddy Hal.396
	BOD	25% - 40%	
Activated Sludge	BOD	85% - 95%	Sperling Hal.13
	COD	85% - 90%	
	NH ₃ -N	85% - 95%	
	Coliform	60% - 90%	
	TSS	85% - 95%	
Clarifier	TSS	75%	Buku A Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja Hal.91
	BOD	48%	
	COD	45%	

2.5 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing-masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (headloss) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi setiap unit instalasi dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan baik pada perhitungan yang telah dilakukan pada bab masing-masing bangunan sebelumnya maupun yang langsung dihitung pada bab ini.

Profil Hidrolis IPAB adalah merupakan upaya penyajian secara grafis “hydrolic grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit

pengolahan (influent-effluent) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, memastikan tidak terjadi banjir atau luapan air akibat aliran balik.

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

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen-effluen) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

- Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- Kehilangan tekanan pada bak
- Kehilangan tekanan pada pintu
- Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus di hitung secara khusus

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut:

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, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus.

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 perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

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. Menambahkan 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 sesudah intake.
- d. Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air.

2.7 BOQ dan RAB

2.7.1 BOQ (Bill Of Quantity)

BOQ (daftar kuantitas), adalah perincian seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah pekerjaan konstruksi. Yang terdiri dari pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, pekerjaan MEP (Mekanikal, Elektrikal dan Plumbing), pekerjaan utilitas, lanskap dan sebagainya. Karakteristik BOQ:

1. Dalam BoQ masing-masing item pekerjaan telah tercantum beserta volume,
2. Tidak menutup kemungkinan item dan volume pekerjaan tersebut dapat bertambah atau berkurang kemudian hari, yaitu pada saat klarifikasi dan negosiasi harga,
3. Dalam BoQ tidak tercantum harga satuan pekerjaan,
4. Menghitung volume BoQ berdasarkan gambar rencana,
5. Pihak yang menyusun BoQ adalah konsultan perencanaan.

Tujuan membuat BOQ adalah:

1. Sebagai perhitungan awal, untuk mengetahui jumlah biaya yang harus disiapkan oleh Owner untuk pelaksanaan proyek.
2. Untuk keperluan pelaksanaan proses tender (lelang) proyek,
3. Berguna sebagai acuan/dasar bagi peserta lelang (kontraktor) untuk mengajukan penawaran harga.

2.7.2 RAB (Rincian Anggaran Biaya)

RAB Adalah daftar harga atau perhitungan rincian biaya yang kita anggarkan untuk pelaksanaan sebuah proyek konstruksi. Mencakup keseluruhan biaya yang kita perlukan untuk pengadaan bahan, biaya alat maupun biaya/upah tenaga kerja. RAB dapat meliputi seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah proyek, atau hanya meliputi 1 sub pekerjaan saja. Misalnya RAB sub pekerjaan konstruksi baja, RAB sub pekerjaan instalasi listrik dan seterusnya. Karakteristik RAB:

1. Dalam RAB telah tercantum seluruh item pekerjaan, volume serta harga satuan pekerjaan,

2. Item pekerjaan, volume dan harga satuan yang ada dalam RAB sifatnya mengikat. Artinya tidak dapat berubah (bertambah atau berkurang) kemudian hari,
3. Menghitung volume RAB berdasarkan gambar bestek atau forcont,
4. RAB oleh masing-masing peserta lelang (kontraktor), sehingga volume dan harga satuan pekerjaan pasti berbeda.

Tujuan membuat RAB adalah:

1. Pada proyek berskala kecil yang tidak menggunakan jasa konsultan perencana, misalnya pembangunan rumah tinggal. Kontraktor selalu melakukan perhitungan RAB untuk diajukan kepada owner. Sementara kasus yang sedikit berbeda, jika kontraktor ingin nge-sub salah satu pekerjaan dari maincont. Walaupun sebenarnya maincont memiliki BOQ, namun tak jarang kontraktor harus melakukan perhitungan RAB.
2. Ketika maincont menyatakan agar subcont melakukan perhitungan RAB, maka secara otomatis BOQ yang disusun oleh konsultan perencana tidak berlaku. Dengan kata lain BOQ tersebut menjadi rahasia oleh maincont, yang tidak perlu diketahui oleh subcont.

Berdasarkan situasi seperti ini, maka tujuan melakukan penyusunan RAB adalah:

1. Untuk keperluan pengajuan penawaran harga dengan sistem lump sum,
2. Sebagai dasar melaksanakan saat klarifikasi dan negosiasi harga,
3. Pedoman untuk pelaksanaan proyek bilamana kontraktor ternyata menang tender.