

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Cair Industri

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan industri pengolahan minyak bumi mempunyai karakteristik limbah industri pengolahan minyak bumi yang berbeda, menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.19 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas serta Panas Bumi.

Komposisi air limbah sebagai bahan buangan sangat mempengaruhi sifat dan karakteristik sehingga sangat membantu dalam penentuan teknik dan pelaksanaan pengolahan air limbah. Sifat – sifat dan karakteristik air limbah yang terdapat pada industri pengolahan minyak bumi adalah :

2.1.1 Derajat keasaman (pH)

Konsentrasi ion hidrogen atau yang biasa disebut derajat keasaman (pH) merupakan parameter yang penting baik untuk air maupun air limbah. pH biasanya digunakan untuk menunjukkan konsentrasi dari ion hydrogen tersebut.

Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6-9. Air limbah dengan pH yang ekstrim sulit untuk pengolahan secara biologis dan jika tidak dilakukan penetralan pH sebelum air limbah diolah akan merubah kondisi di perairan alami (Metcalf- Eddy, 2004).

2.1.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri aerobik melalui proses biologis (*biological oxidation*) secara dekomposisi aerobik.

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.

2.1.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kimia yang kuat (*potassium dikromat*) (Syed R. Qasim, 1985).

Menurut Suparmin (2003) angka COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara ilmiah dioksidasi oleh proses mikrobiologis yang mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut (DO) dalam air. Penyebab tingginya COD dapat diakibatkan oleh tingginya kandungan bahan organik dalam air mengakibatkan oksigen terlarut dalam air sangat rendah sehingga angka COD menjadi tinggi (Wardana W, 2004).

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 ≥ 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.

2.1.4 Minyak & lemak

Minyak dan lemak adalah senyawa organik yang tidak dapat larut di dalam air, namun dapat larut dalam pelarut yang memiliki polaritas sama, yaitu pelarut organik non-polar (Herlina, N., Ginting, M. H. S., 2002). Minyak dan lemak sama-sama berasal dari ikatan karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Perbedaan utama antara minyak dan lemak adalah minyak terdiri dari komponen unsaturated fatty acids yang menyebabkan minyak berwujud cair pada temperatur ruang, sementara lemak terdiri dari komponen saturated fatty acids yang menyebabkan lemak berwujud padat pada temperatur ruang (Panawala, 2017). Menurut Geesha (2016), saturated fat merupakan fatty acid yang sebagian besar hanya memiliki ikatan tunggal atom karbon. Sementara

itu, unsaturated fat merupakan fatty acid yang sebagian besar terdiri dari ikatan tunggal dan rangkap.

Menurut Nugroho (2006), minyak mengandung senyawa volatil yang mudah menguap dan mengandung sisa minyak yang tidak dapat menguap. Minyak tidak dapat larut dalam air, sehingga sisa minyak akan tetap mengapung di air, kecuali jika minyak tersebut terdampar ke pantai atau tanah di sekeliling sungai. Minyak yang menutupi permukaan air akan menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air. Selain itu, lapisan minyak juga dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air karena fiksasi oksigen bebas menjadi terhambat. Akibatnya, terjadi ketidakseimbangan rantai makanan di dalam air. Sementara itu, menurut Ginting (2007), minyak akan membentuk lapisan tipis di permukaan air dikarenakan berat jenisnya lebih kecil dari air. Selain itu, minyak akan menutup permukaan yang mengakibatkan terbatasnya oksigen masuk dalam air. Pada beberapa kondisi, minyak akan membentuk lumpur dan mengendap.

2.1.5 Amonia (NH₃-N)

Kandungan amonia dalam air dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan organisme dalam perairan. Secara kimia, keberadaan amonia (NH₃-N) dalam air terdiri dari nitrogen organik, amoniak (NH₃ & NH⁴⁺), nitrit (NO²⁻) dan nitrat (NO³⁻). Bagian bahan organik terdiri dari pencampuran yang kompleks yang di dalamnya tersusun asam amino, gula amino, dan protein (polimer asam amino) (Metcalf- Eddy, 2004).

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).

2.1.6 Fenol

Fenol adalah zat kristal yang tidak berwarna dan memiliki bau yang khas. Senyawa fenol dapat mengalami oksidasi sehingga dapat berperan sebagai reduktor (Hoffman et al., 1997). Fenol bersifat lebih asam bila dibandingkan dengan alkohol, tetapi lebih basa daripada asam karbonat karena fenol dapat melepaskan ion H^+ dari gugus hidroksilnya. Lepasnya ion H^+ menjadikan anion fenoksida C_6H_5O dapat melarut dalam air. Fenol mempunyai titik leleh $41^\circ C$ dan titik didih $181^\circ C$. Fenol memiliki kelarutan yang terbatas dalam air yaitu 8,3 gram/100 mL (Fessenden, 1992).

2.1.7 Sulfida (H_2S)

Hidrogen Sulfida (H_2S), gas yang terbentuk dari proses alamiah penguraian zat-zat organik oleh bakteri dan mikroorganisme (Panjaitan & Delita Br, 2020), dapat ditemukan di dalam operasi pengeboran minyak/gas dan panas bumi, lokasi pembuangan limbah industri, peternakan atau pada lokasi pembuangan sampah. Gas ini merupakan gas tidak berwarna, beracun, dapat larut dalam air serta berbau khas seperti telur busuk.

Selain mudah terbakar, meledak dan beracun, H_2S merupakan gas yang dapat menimbulkan iritasi pada sistem pernapasan. Keluhan seperti batuk, napas cepat bahkan perdarahan paru dapat terjadi akibat inhalasi kadar rendah gas H_2S . Pada konsentrasi yang tinggi yaitu lebih dari 1000 ppm, gas H_2S dapat menjadi asfiksian kimia. Mekanisme asfiksia H_2S terjadi karena menghambat enzim sitokrom c oksidase. Penghambatan enzim ini akan menyebabkan terganggunya transpor oksigen dalam tubuh sehingga tubuh mengalami keadaan hipoksia yang berujung dengan kematian. H_2S juga ditemukan bersama gas beracun lain seperti metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) (Hayatillah, 2018).

2.2 Bangunan pengolahan air buangan

Bangunan pengolahan air buangan digunakan untuk mengolah limbah yang berasal dari hasil samping kegiatan suatu industri dengan tujuan untuk mendapatkan hasil effluent ataupun output limbah yang telah melalui proses pengolahan serta memenuhi baku mutu yang telah ditentukan. Kegiatan pengolahan air limbah perlu dikelola dengan baik tergantung dari jenis senyawa yang terdapat pada air limbah. Bangunan pengolahan air buangan mempunyai kelompok tingkat pengolahan, yaitu :

a. Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)

Pengolahan pendahuluan adalah proses pengolahan yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan padatan-padatan seperti pasir, kerikil dan sampah yang mengapung yang dapat mengganggu proses pengolahan selanjutnya.

b. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Bertujuan untuk menghilangkan zat padat tercampur melalui pengendapan atau pengapungan

c. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Proses biologis untuk mengurangi bahan organik, meliputi proses penambahan oksigen dan pertumbuhan bakteri.

d. Pengolahan Tersier (*Tertiary Treatment*)

Pengolahan ketiga ini adalah kelanjutan dari pengolahan sebelumnya. Pengolahan ini dilakukan apabila pada pengolahan pertama dan kedua zat yang terkandung dalam air limbah masih belum memenuhi baku mutu.

e. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Dari pengolahan air limbah maka akan dihasilkan lumpur yang berasal dari endapan-endapan yang terbentuk. Lumpur ini memerlukan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan.

A. Pengolahan Pendahuluan

Dalam pengolahan pendahuluan memiliki peralatan limbah cair agar memiliki homogenitas dan memudahkan untuk pengolahan selanjutnya. Terdapat dua kegiatan yang dilakukan dalam tahapan pengolahan pendahuluan, yaitu:

1. Pengambilan benda – benda terapung dengan cara melewatkan air limbah melalui saringan kasar atau dengan alat pencacah (*communitor*) untuk memotong zat padat yang terdapat pada air limbah. (Sugiharto, 1987).
2. Pengambilan benda – benda terendap seperti pasir. Digunakan bak penangkap pasir yang bertujuan untuk menghilangkan kerikil halus, koral, atau zat padat. Bak pengendap disediakan untuk mencegah terjadinya kerusakan alam akibat pengikisan dan terganggunya saluran. (Sugiharto, 1987).

Proses pengolahan ini merupakan proses pada awal pengolahan yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Unit pengolahan ini meliputi:

2.2.1 Saluran Pembawa

Air dapat diangkut dari suatu tempat ke tempat lain melalui bangunan pembawa alamiah ataupun buatan manusia. Bangunan pembawa ini dapat terbuka maupun tertutup bagian atasnya. Saluran yang tertutup bagian atasnya disebut saluran tertutup (*closed conduits*), sedangkan yang terbuka bagiannya disebut saluran terbuka (*open channels*).

Aliran dalam saluran terbuka maupun saluran tertutup yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*) permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfer setempat.

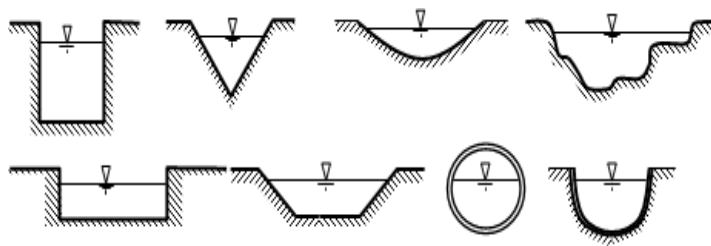
Jika pada aliran tidak terdapat permukaan bebas dan aliran dalam saluran penuh, aliran yang terjadi disebut aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*). Aliran dalam pipa tidak mempunyai tekanan atmosfer, tetapi mempunyai tekanan hidraulis.

a. Saluran tertutup

Dalam saluran tertutup kemungkinan dapat terjadi aliran bebas maupun aliran tertekan pada saat yang berbeda, misalnya gorong-gorong untuk drainase, pada saat normal alirannya bebas, sedangkan pada saat banjir karena hujan, tiba-tiba air akan memenuhi gorong-gorong sehingga alirannya tertekan. Dapat juga terjadi pada ujung saluran tertutup yang satu terjadi aliran bebas, sementara ujung yang lain alirannya tertekan. Kondisi ini dapat terjadi jika ujung hilir saluran terendam (*submerged*).

b. Saluran terbuka

Air yang mengalir pada saluran terbuka mempunyai bidang kontak hanya pada dinding dan dasar saluran.



Gambar 2.1 Macam-macam bentuk saluran terbuka

(Sumber : google)

Saluran terbuka dapat berupa :

- Saluran alamiah atau buatan
- Galian tanah dengan atau tanpa lapisan penahan
- Terbuat dari pipa, beton, batu, bata, atau material lain
- Dapat berbentuk persegi, segitiga, trapesium, lingkaran, tapal kuda, atau tidak beraturan.

Kriteria desain

- Kecepatan aliran (v) = $0,3 - 0,6$ m/s
(*Metcalf & Eddy 4th, 316*)
- Freeboard = $5-30\%$ (Hidrolika saluran Terbuka, *Ven Te Chow, Hal. 159*)

- Dimensi saluran = $B = 2H$
- Koefisien manning bahan beton (n) = 0,013 (Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II)

Tabel 2.1 Koefisien Kekasaran Manning (n)

No.	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton	0,010	0,011	0,013
	Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran			
	Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	Saluran pembuangan dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
2	Tanah, lurus, dan seragam	0,016	0,018	0,020
	Bersih baru			
	Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	Berumput pendek, sedikit tanaman	0,022	0,027	0,033
3	Saluran alam	0,025	0,030	0,033
	Bersih lurus			
	Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,080
	Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0,025	0,030	0,035
	Saluran di belukar	0,035	0,050	0,070

(Sumber : Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II)

Rumus yang digunakan

- a. Luas permukaan (A)

$$A = \frac{Q}{v} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = Debit limbah ($m^3/detik$)

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

- b. Dimensi saluran pembawa

$$H = \frac{A}{B} = \frac{A}{2H}$$

$$= \sqrt{\frac{A}{2}} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$H_{\text{total}} = H + (\text{Freeboard} \times H) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$B = 2 \times H \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

H = Ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = Lebar saluran pembawa (m)

c. Jari- Jari hidrolis

$$R = \frac{B \times H}{B + 2H} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

R = Jari-jari hidrolis (m)

H = Ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = Lebar saluran pembawa (m)

d. Slope

$$\text{Slope} = \left(\frac{nv}{R^{2/3}} \right)^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

n = Koefisien manning

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

R = Jari – jari hidrolis (m)

e. Headloss

$$H_f = S \times L \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

S = Kemiringan saluran atau slope (m/m)

L = Panjang saluran

2.2.2 Bak penampung

Bak penampung berfungsi sebagai unit penyeimbang debit dan kualitas limbah yang akan masuk instalasi dalam keadaan konstan. Untuk menyalurkan air limbah ke unit selanjutnya digunakan pompa dengan peningkatan energi mekanika fluida. Dimensi bak penampung sesuai dengan kuantitas limbah dan perubahan aliran.



Gambar 2.2 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 dilairkan ke bak penampung. Disini debit air limbah diatur. Agar dapat memenuhi kriteria perencanaan untuk unit bangunan selanjutnya.

Kriteria Desain

- Waktu detensi (t_d) = 24 jam (normalnya)
- Kedalaman (H) = 1,5 – 2 m (Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse Fourth edition, hal 344)
- Freeboard (F_b) = 5 – 30% (Hidrolika saluran Terbuka, Ven Te Chow, Hal. 145)

Rumus yang digunakan

c. Volume Bak Pengumpul (V_b)

$$V_b = Q \times t_d \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

Q = Debit limbah ($m^3/detik$)

t_d = Waktu detensi (s)

d. Ketinggian total

$H = H + (\text{Freeboard} \times H) \dots \dots \dots (2.15)$

Keterangan :

H = Ketinggian air dalam bak pengumpul (m)

$F_b = 5-30\%$

e. Luas permukaan (A)

$A = L \times B \times H \dots \dots \dots (2.16)$

Keterangan :

A = Luas permukaan Bak pengumpul (m^2)

L = Panjang bak pengumpul (m)

B = Lebar bak pengumpul (m)

H = Ketinggian air dalam bak pengumpul (m)

f. Cek waktu detensi (t_d)

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

Keterangan :

t_d = Waktu detensi (s)

V = Volume bak pengumpul (m^3)

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

B. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Pada proses ini terjadi proses fisik dan kimia. Proses fisik dapat berupa pengendapan pertama untuk memisahkan padatan tersuspensi. Dalam proses gravitasi yang berfungsi untuk meremoval minyak dan lemak dan proses kimia digunakan netralisasi untuk menetralkan pH. Pengolahan primer (*Primary Treatment*) yang dibutuhkan untuk mengolah limbah cair industri minyak dangas bumi ini meliputi :

2.2.3 Netralisasi

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis harus dilakukan netralisasi terlebih dahulu agar sistem pengolahan dapat berjalan secara optimal. Pada sistem biologis, perlu dilakukan pengkondisian agar tingkat keasaman (pH) berada pada rentang antara 6,5-8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas buffer yang terjadi karena ada produk CO_2 dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam (W. Wesley Eckenfelder, 2000).

Larutan dikatakan asam bila : $\text{H}^+ > \text{OH}^-$ dan $\text{pH} < 7$

Larutan dikatakan netral bila : $\text{H}^+ = \text{OH}^-$ dan $\text{pH} = 7$

Larutan dikatakan basa bila : $\text{H}^+ < \text{OH}^-$ dan $\text{pH} > 7$

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk menetralkan tingkat keasaman (pH) dalam limbah cair. Hal tersebut antara lain seperti berikut :

- Mencampurkan limbah.
- Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur.
- Mencampurkan limbah asam dengan slurry kapur.
- Menambahkan senyawa basa seperti Natrium Hidroksida (NaOH), Dinatrium Karbonat (Na_2CO_3) atau Ammonium Hidroksida (NH_4OH) ke dalam limbah asam.
- Menambahkan senyawa asam kuat seperti Asam Sulfat (H_2SO_4) atau Asam Klorida (HCl) ke dalam limbah basa.
- Menambahkan Karbon Dioksida (CO_2) bertekanan ke dalam limbah basa.
- Membangkitkan senyawa Karbon Dioksida (CO_2) dalam limbah basa. (Metcalf & Eddy, 2003).

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

- Sistem batch biasa digunakan pada air limbah yang memiliki debit

lebih kecil dari 380 m³ /hari.

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

Tabel 2.2 Konstanta K_T dan K_L untuk tangki bersekat

Jenis Impeller	K _L	K _T
Propeller, Pitch of 1, 3 blades	41	0.32
Propeller, Pitch of 2, 3 blades	43.5	1
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60	5.31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65	5.75
Turbine, 6 curved blades	70	4.80
Fan Turbine, 6 blades at 45°	70	1.65
Shrouded Turbine, 6 curved blades	97.5	1.08
Shrouded Turbine, with stator, no baffles	172.5	1.12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), Di/Wi = 4	43	2.25
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi = 6	36.5	1.70
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi = 8	33	1.15
Flat paddles, 4 blades, Di/Wi = 6	49	2.75
Flat paddles, 6 blades, Di/Wi = 6	71	3.82

(Sumber: Reynold, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, page 188)

Tabel 2.3 Kriteria Impeller

Type Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi
Paddle	20-150 rpm	Diameter = 50-80% Lebar Bak
		Lebar = 0,1-0,167 Diameter Paddle
Turbine	10-150 rpm	Diameter = 30-50% Lebar Bak
Proppeller	400-1750 rpm	Diameter = Max. 45 cm

(Sumber: Reynold, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, page 184-185)

Kriteria Desain

- Waktu detensi (td) = 20-60 s
- Gradien kecepatan = 700-1000 s
(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 182)
- Diameter paddle (Di) = 50-80%
- Lebar paddle (Wi) = 1/6 – 1/10
- Kecepatan putaran paddle (n) = 20-150 rpm
(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 185)
- Kedalaman bak = 1 – 1,25
(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 184)
- Nilai reynold (Nre) = > 10.000
(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 187)

Rumus yang digunakan

❖ Tangki Pembunuh

a. pH yang diolah = pH limbah – pH netral(2.27)

b. Dosis HCl = $\frac{\text{Kadar HCl di pasaran} \times \text{Massa HCl}}{100\%}$ (2.28)

c. Kebutuhan HCl = Dosis HCl x Q.....(2.29)

d. Volume HCl = $\frac{\text{Kebutuhan HCl}}{\rho \text{ HCl}}$ (2.30)

e. Q air pelarut = $\frac{\left(\frac{100-30}{30}\right) - \text{konsentrasi HCl}}{\rho \text{ air}}$ (2.31)

f. Volume total tangki pembunuh

$$V = Q \text{ HCL} + Q \text{ air pelarut} \dots\dots\dots(2.32)$$

g. Dimensi tangki pembunuh

$$\text{Volume} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times h \dots\dots\dots (2.33)$$

❖ Tangki Netralisasi

a. Volume tangki netralisasi

$$V = (Q \text{ limbah} + Q \text{ larutan}) \times t_d \dots\dots\dots(2.34)$$

b. Dimensi tangki netralisasi

$$\text{Volume} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times h \dots\dots\dots (2.35)$$

c. Tekanan yang dibutuhkan per unit

$$W = G^2 \times \mu \dots\dots\dots(2.36)$$

d. Nilai tekanan dalam air (P)

$$P = G^2 \times \mu \times V \dots\dots\dots(2.37)$$

e. Diameter impeller (Di)

$$D_i = \text{Diameter tangki} \times 50\% \dots\dots\dots(2.38)$$

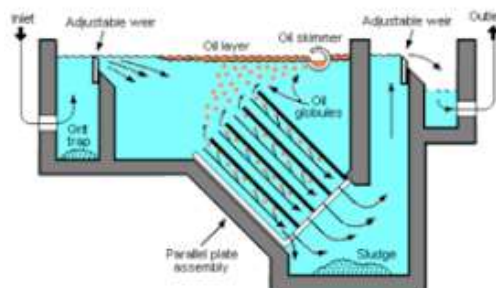
f. Lebar paddle

$$L_p = 0,1 \times \text{Diameter bak} \dots\dots\dots (2.39)$$

g. Jarak impeller dari dasar

$$s \text{ dasar} = 50\% \times D_i \dots\dots\dots(2.40)$$

2.2.4 CPI Separator (Corrugated Plate Interceptors)



Gambar 2.3 CPI Separator

CPI Separator adalah unit pengolahan air limbah secara fisik, yang bekerja dengan cara mengalirkan air limbah menuju filter berupa pelat 45°. Ini mempercepat pemisahan air limbah dengan minyak dan lemak. Air limbah akan mengalir menuju unit pengolahan selanjutnya, sementara minyak dan lemak akan tertahan di atas permukaan pelat. CPI Separator memiliki efisiensi 70-95% dengan temperatur air limbah 4-100°C dan pH 2-12 (USSU Engineering, 2009).

Pada umumnya, gravitasi digunakan sebagai langkah untuk menghilangkan minyak dalam suatu limbah air buangan dari sumur produksi minyak atau kilang minyak. Proses pemisahan minyak dengan air ikutannya ini berdasarkan adanya Gravitasi dengan beda berat jenis (Gravity beda density). Efektivitas pemisahan dipengaruhi juga oleh temperatur, density, ukuran partikel, dan jumlah serta sifat-sifat zat tersuspensi dalam air buangan. Proses pemisahan pada CPI tidak dapat memecah emulsi, sehingga apabila limbah yang akan diolah berbentuk emulsi maka harus diolah dulu pada peralatan lain (Mustakim, 1988).

Gravity separator umumnya terdiri dari separator awal dan separator utama. Separator awal digunakan untuk memisahkan partikel-partikel besar, sedangkan separator utama digunakan untuk memisahkan minyak dari air. Partikel minyak yang telah terpisah kemudian diambil dan diproses kembali untuk memperoleh minyaknya, sedangkan sludge yang telah diambil dari airnya (dewatering) kemudian dibakar, dimasukkan dalam incinerator atau ditimbun dalam tanah (landfill).

Dalam rancang bangun untuk mendapatkan ukuran Sel CPI, diperoleh dengan menghitung Surface Area (A), merupakan perbandingan antara Debit (Q) dengan Surface Loading (Vs), kemudian dikoreksi dengan menghitung bilangan Reynold (Re) dan bilangan Freude (Fr), perbandingan tersebut sampai mendapatkan angka yang memenuhi batasan aliran laminar (Huisman, 1977).

Kriteria Desain

Dalam merancang dan memilih unit CPI Separator sebagai bagian dari sistem pengolahan limbah cair industri minyak dan gas bumi, ada beberapa kriteria desain yang harus dipertimbangkan. Kriteria-kriteria ini penting untuk memastikan bahwa CPI Separator dapat berfungsi dengan efektif dan efisien dalam memisahkan minyak dan lemak dari air limbah. Selain itu, kriteria desain juga mempengaruhi biaya operasional dan pemeliharaan, serta dampak lingkungan dari proses pengolahan limbah. Mari kita pelajari lebih lanjut tentang kriteria-kriteria desain ini.

Tabel 2.4 Kriteria Desain unit CPI Separator

Kriteria Desain unit CPI Separator			
Keterangan	Nilai	Satuan	Sumber
Kedalaman Unit, H (m)	$0,9144 \leq H \leq 2,438$	m	Odieta & Agunwamba (2019)
Panjang Unit, P (m)	$1,828 \leq P \leq 6,09$	m	
Kecepatan horizontal, (Vh)	$Vh \leq 0,9144$	m/menit	
Bilangan Reynold (Nre)	$Nre \leq 1$		
Waktu detensi, (t)	10-60	menit	
Kedalaman unit : Panjang unit (H : P)	3-5:10		
Lebar pelat : Panjang pelat (Lp : Pp)	1:1-2		Freylit (1983), Brentwood Industries (2001)
Lebar pelat (Lp)	$1,5 \leq Lp \leq 2,5$	m	Freylit (1983)
Sudut pelat	$30^{\circ}-60^{\circ}$		API-421 (1990)
Area bebas pelat : Kedalaman unit (h : H)	1 : 5		SWMM City of Tahoma (2012)
Area bebas pelat pada dasar unit	8	cm	
Jarak antar pelat	(1,27 – 2,54)	cm	API-421 (1990)

Rumus yang digunakan

➤ Tangki CPI Separator

1) Kecepatan Mengapung pada Minyak & Lemak (Vt)

$$V_t = \frac{g(\rho_w - \rho_o)d^2}{18(\mu_w)}$$

Keterangan :

g = Gravitasi (m/s^2)

ρ_w = Densitas air (kg/m^3)

ρ_o = Densitas minyak (kg/m^3)

d = Diameter Partikel Minyak (μ_m)

μ_w = Viskositas Dinamik Air (kg/ms)

2) Bilangan Reynold (N_{re} / Aliran Laminer)

$$N_{re} = \frac{Vt \times d}{\vartheta_w}$$

Keterangan :

Vt = Kecepatan Mengapung pada Minyak & Lemak (m/s)

d = Diameter Partikel Minyak (μ_m)

ϑ_w = Viskositas Dinamik Air (kg/ms)

3) Waktu Detensi (t_d)

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

Keterangan :

H = Kedalaman Unit (m)

Vt = Kecepatan Mengapung pada Minyak & Lemak (m/s)

4) Volume Awal (V_i)

$$V_i = Q_i \times t_d$$

5) Konsentrasi Minyak & Lemak (C_o)

$$E = \frac{C_i Q_i - C_o Q_o}{C_i Q_i}$$

6) Kecepatan Horizontal Aliran (V_h)

$$V_h = \frac{Q_i}{H \times P}$$

7) Aspek Rasio (R)

$$R = \frac{V_i \times C_i \times Q_i \times (1 - E)}{C_o \times Q_o \times P^2 \times H}$$

8) Lebar Awal Unit (L_i)

$$L_i = R \times P$$

9) V_h/V_t untuk menentukan faktor turbulensi (F_i) dan faktor turbulensi dengan short-circuiting factor (F)

$$\frac{V_h}{V_t}$$

10) Lebar Akhir (L) & Tinggi Akhir Unit (H)

$$L = L_i \times F$$

11) Volume Akhir Unit (V)

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

➤ **Pelat Pack**

(Sumber Djaswadi (2003) dan Branion (1987).)

1) Panjang pelat efektif (P_{pe})

$$\text{Panjang Pelat efektif (Ppe)} = \frac{\text{Kedalaman Tersisa}}{\cos 45^\circ}$$

2) Kebutuhan pelat pada masing – masing pack

$$\text{Kebutuhan Pelat} = \frac{H_p}{H_{ap}}$$

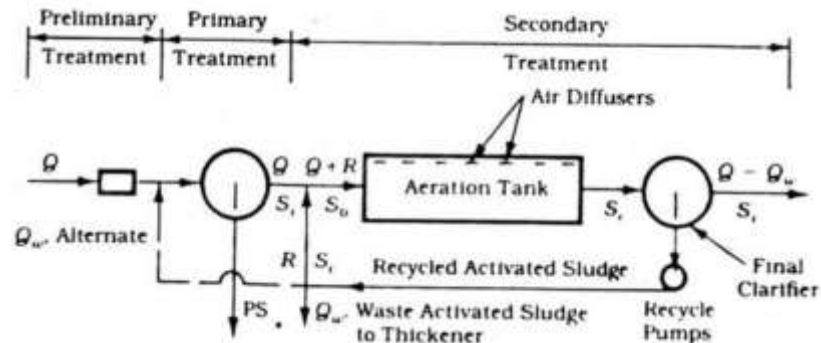
C. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobic. Berikut pengolahan yang digunakan untuk meremoval kandungan organik :

2.2.5 Activated Sludge

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 :

- Konvensional



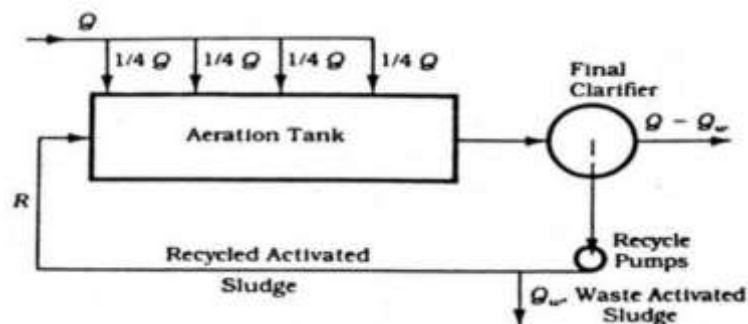
Gambar 2.4 Activated sludge sistem konvensional

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

- Non Konvensional

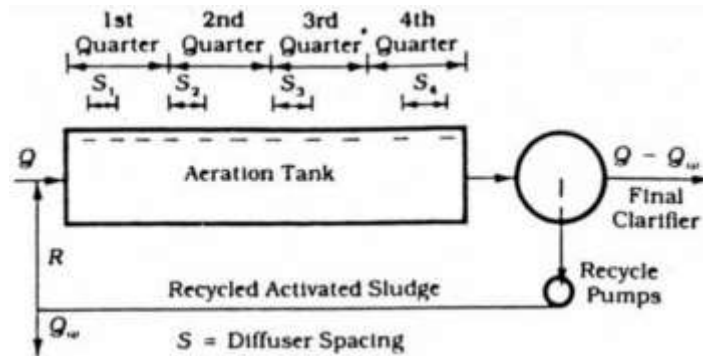
a) Step Aeration

- Merupakan type plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju outlet.
- Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik ditangki 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 2.5 Step Aeration

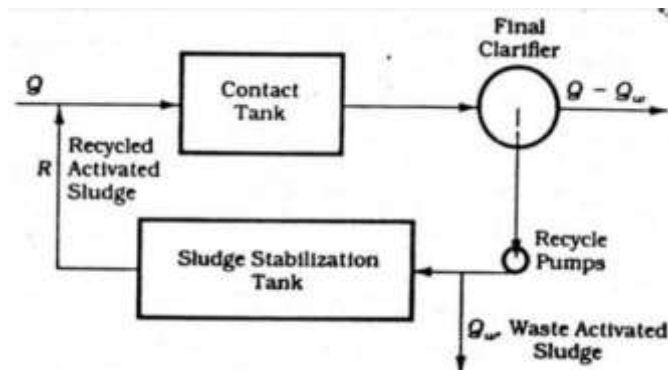
b) Tapered Aeration



Gambar 2.6 Tapered Aeration

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

c) Contact Stabilization

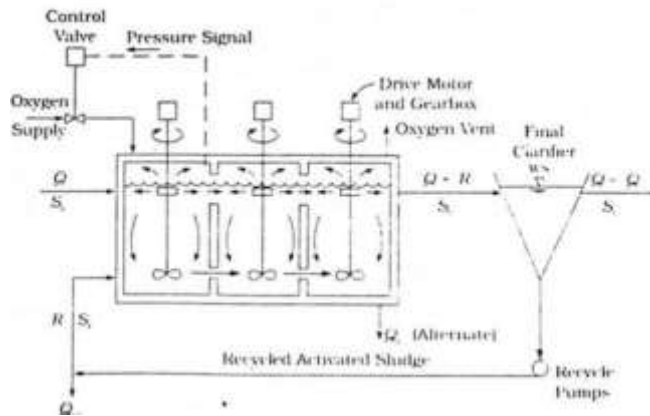


Gambar 2.7 Contact Stabilization

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 stabilasi).

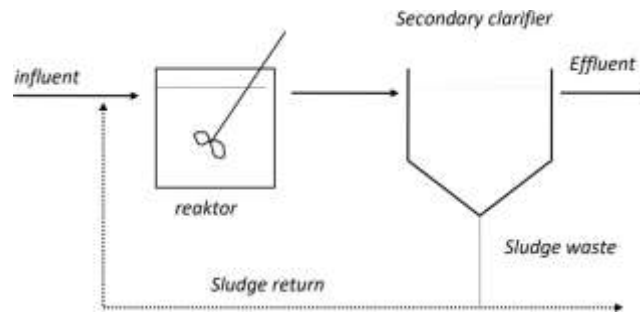
d) Pure Oxygen



Gambar 2.8 Pure oxygen

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

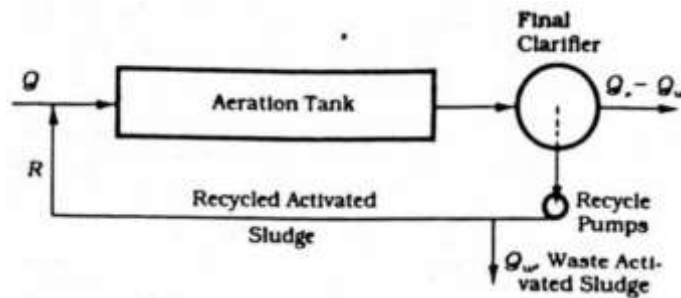
e) High rate aeration



Gambar 2.9 High rate aeration

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

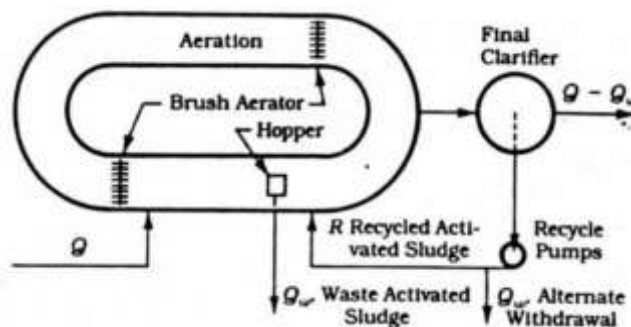
f) Extended aeration



Gambar 2.10 Extended aeration

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

g) Oxydation Ditch



Gambar 2.11 Oxydation ditch

Bentuk oksidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s.

Kriteria Desain

- Mean cell residence time / umur lumpur (θ_c) = 4 – 10 hari
- Ratio F/M = 0,3 – 0,8 (Sperling, hal 19)
- MLSS (X) = 1500 – 3500 mg/l (Sperling, hal 21)
- MLSS resirkulasi (X_r) = 8000 – 12000 mg/l (Sperling, hal 36)
- Recycle ratio (R/Q) = 0,7 – 1,2 (Sperling, hal 37)
- Ratio MLSS dan MLVSS = 0,7 – 0,85 (Sperling, hal 21)
- Koefisien temperature aktif (θ) = 1,04 (untuk T 20-30)
- Safety factor = 1,75 – 2,5
- Kecepatan pipa (v) = 0,3 – 2,5 m/s

Rumus yang digunakan

a. BOD yang teremoval

$$\text{BOD yang teremoval} = \text{BOD influent (Co)} \times \% \text{ removal} \dots\dots\dots (2.42)$$

b. BOD yang lolos (Cr)

$$Cr = \text{BOD influent (Co)} - \text{BOD yang teremoval} \dots\dots\dots (2.43)$$

c. Kadar MLVSS

$$\text{MLVSS} = \text{MLSS} \times 0,8 \dots\dots\dots (2.44)$$

d. Rasio resirkulasi (R)

$$R = \frac{X}{X_r - X} \dots\dots\dots (2.45)$$

e. Debit resirkulasi (Qr)

$$Q_r = Q_o \times R \dots\dots\dots (2.46)$$

f. Debit yang masuk ke bak AS (Qin)

$$Q_{in} = Q_o + Q_r \dots\dots\dots (2.47)$$

g. Konsentrasi BOD dalam bak AS (Ca)

$$Ca = \frac{(Q_o \times Co) + (Q_r \times Cr)}{Q_o + Q_r} \dots\dots\dots (2.48)$$

h. Volume bak AS

$$V \text{ bak AS} = \frac{Q_{in} \times \theta_c \times Y \times (Ca - Cr)}{X \times (1 + K_d \times \theta_c)} \dots\dots\dots (2.49)$$

i. Dimensi bak AS

$$\text{Volume} = L \times W \times H \dots\dots\dots (2.50)$$

j. Kontrol F/M rasio

$$F/M = \frac{Q_{in} \times Ca}{V \times X} \dots\dots\dots (2.51)$$

k. Kuantitas lumpur yang dihasilkan setiap hari (Y observated)

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + (K_d + \theta_c)} \dots\dots\dots (2.52)$$

l. Masa lumpur aktif (Px)

$$P_x = Y_{obs} \times Q_{in} \times (Ca - Cr) \dots\dots\dots (2.53)$$

m. Debit lumpur (Qw)

$$Q_w = \frac{P_x}{X} \dots\dots\dots (2.54)$$

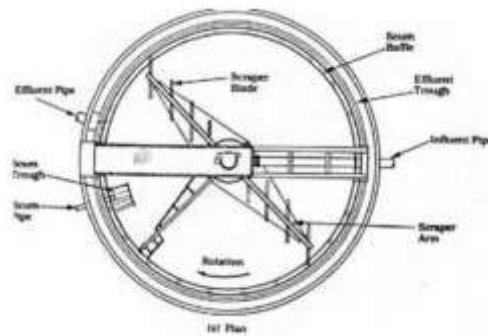
D. Pengolahan Tersier (*Tertiary Treatment*)

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan sebelumnya, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, pengolahan tersier terdiri dari beberapa bangunan seperti ion exchange dan bak pengendap II (clarifier) pada perencanaan bangunan pengolahan air buangan industri pengolahan minyak bumi menggunakan clarifier karena bertujuan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya yaitu activated sludge.

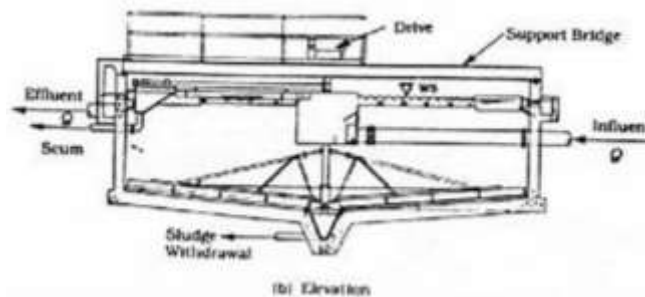
2.2.6 Clarifier

Secondary clarifier (Bak Pengendap II) berfungsi untuk memisahkan lumpur aktif dari *Mixed-liquor suspended solids* (MLSS). Lumpur yang mengandung mikroorganisme (bakteri) yang masih aktif akan diresirkulasi kembali ke activated sludge (tangki aerasi) dan sludge yang mengandung mikroorganisme yang sudah mati atau tidak aktif lagi dialirkan ke pengolahan lumpur.

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Prinsip operasi yang berlangsung di dalam secondary clarifier ini adalah pemisahan dari suatu suspensi ke dalam fase-fase padat (sludge) dan cair dari komponen komponennya. Operasi ini dipakai dimana cairan yang mengandung zat padat ditempatkan dalam suatu bak tenang dengan desain tertentu sehingga akan terjadi pengendapan secara gravitasi. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing – masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang *blades*. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.



Gambar 2.12 Denah Clarifier



Gambar 2.13 Potongan melintang clarifier

Secondary clarifier ini merupakan rangkaian proses dari activated sludge yang operasinya merupakan sistem continuous mixed flow. Sedangkan untuk menentukan besar lumpur yang diresirkulasi ke dalam bak aerasi, maka dilakukan control dengan suatu pengukuran dalam bak pengendap yang disebut sludge volume index (SVI). Indeks ini didefinisikan sebagai volume lumpur dalam ml yang terendapkan dari satu gram MLSS setelah diendapkan selama 30 menit dalam 1000 ml. SVI umumnya berada dalam range 50-150 ml/gram yang mengidentifikasi pengendapan lumpurnya berjalan dengan baik.

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

Kriteria Desain

- Kedalaman (H) = 10 – 15 ft = 3 – 4,6 m
- Diameter = 20 – 200 ft = 3 – 6 m
- Slope dasar = ¾ - 2 in/ft = 62,5 – 166,7 mm/min
- Flight travel speed = 0,02 – 2,5 jam
- Waktu detensi (td) = 1,5 jam - 2,5 jam
- Over flow rate = 30 – 50 m³/m².hr
- Peak flow rate = 80 – 120 m³/m².hr
- Weir loading = 125 – 500 m³/m².hr

(Sumber: Metcalf and Eddy. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*. 4th Edition. 1991. Hal 398)

- Diameter inlet well = 15 – 20% dari diameter bak
- Kecepatan aliran menuju inlet well = 0,3 – 0,75 m/s

(Sumber: Metcalf and Eddy. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*. 4th Edition. 1991. Hal 401)

Rumus yang digunakan

1) Zona Settling

a. Debit yang masuk (Qin)

$$Q_{in} = Q_o + Q_r \dots\dots\dots (2.55)$$

b. Volume bak clarifier

$$V = Q \times t_d \dots\dots\dots (2.56)$$

c. Luas surface area

$$A_s = \frac{Q}{\text{Overflow rate}} \dots\dots\dots (2.57)$$

d. Diameter bak

$$D = \sqrt{\frac{A \times A}{\pi}} \dots\dots\dots (2.58)$$

e. Diameter inlet wall (D')

$$D' = 15\% \text{ Diameter bak} \dots\dots\dots (2.59)$$

f. Kedalaman bak (H)

$$H = \frac{\text{Volume}}{\text{Luas permukaan}}$$

g. Cek volume bak(2.60)

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times h \dots\dots\dots (2.61)$$

h. Cek waktu detensi

$$T_d = \frac{\text{Volume}}{\text{Debit (Q)}} \dots\dots\dots (2.62)$$

i. Kecepatan pengendapan partikel (63)

$$V_s = \frac{H}{t_d} \dots\dots\dots (2.64)$$

j. Kecepatan horizontal di Bak

$$V_h = \frac{Q_{in}}{\pi \times D \times H} \dots\dots\dots (2.65)$$

k. Jari-jari bak

$$r = \frac{D}{2} \dots\dots\dots (2.66)$$

2) Zona Inlet

a. Diameter pipa inlet

b. Luas penampang pipa

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \dots\dots\dots (2.67) \end{aligned}$$

c. Kecepatan aliran pipa

$$V_p = \frac{Q_{in}}{A} \dots\dots\dots (2.68)$$

3) Zona Sludge

a. Berat jenis solid (sg)

$$S_g = (60\% \times S_g \text{ volatile solid}) + (40\% \times S_g \text{ fixed solid}) \dots\dots\dots (2.70)$$

b. Berat jenis sludge (si)

$$S_i = (5\% \times 1,78 \text{ g/cm}^3) + (95\% \times 1 \text{ g/cm}^3) \dots\dots\dots (2.71)$$

c. Removal BOD (output sludge dari AS)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \text{persen removal BOD})) \dots\dots\dots (2.72)$$

d. Berat solid

$$\text{Berat solid} = C_n \times Q \dots\dots\dots (2.73)$$

e. Volume solid

$$V \text{ solid} = \frac{\text{Berat solid}}{\text{berat jenis solid}} \dots\dots\dots (2.74)$$

f. Berat air

$$\text{Berat air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{berat solid} \dots\dots\dots (2.75)$$

g. Volume air

$$V \text{ air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{berat jenis air}} \dots\dots\dots (2.76)$$

h. Volume sludge

$$V \text{ sludge} = \text{volume solid} + \text{volume air} \dots\dots\dots (2.77)$$

i. Berat sludge

$$\text{Berat sludge} = \text{volume sludge} \times \text{berat jenis sludge} \dots\dots\dots (2.78)$$

4) Zona Outlet

a. Panjang tiap weir

$$L = \pi \times \text{Diameter bak} \dots\dots\dots (2.79)$$

b. Jumlah Vnotch (n)

$$n = \frac{L \text{ weir}}{\text{jarak antar weir}} \dots\dots\dots (2.80)$$

c. Debit air yang mengalir tiap Vnotch

$$Q = \underline{Q \text{ bak}} \dots\dots\dots (2.81)$$

E. 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 :

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

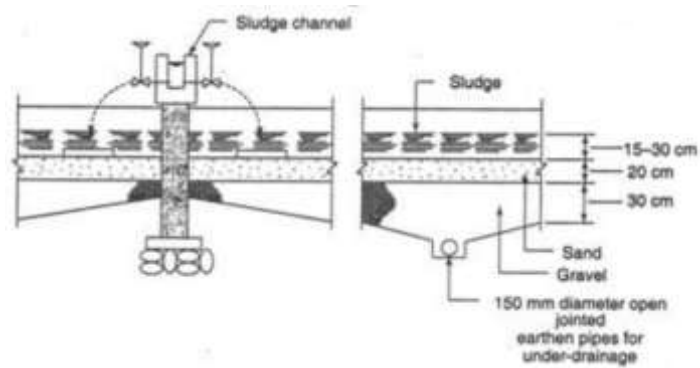
Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

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

2.2.7 Sludge Drying Bed

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 & Eddy, 2003).

Sludge Drying Bed terdiri dari lapisan pasir kasar dengan kedalaman 15-25 cm, terdiri dari beberapa bak/bagian tergantung pada keperluannya. Pembagian ini dimaksud agar lumpur benar-benar kering sebelum lumpur yang basah dimasukkan kembali dibuang menuju lokasi pembuangan (landfill). (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2.14 Sludge Drying Bed

Lumpur dimasukkan ke dalam Sludge Drying Bed dengan ketebalan 20-30 cm dan dibiarkan hingga kering. Waktu pengeringan tergantung kondisi setempat. Misalnya dalam waktu 10-15 dengan dengan sinar matahari akan dicapai tingkat kekeringan antara 30-40%

Kriteria Desain

- Waktu pengeringan= 10 – 15 hari
- Tebal sludge cake = 20 – 30 cm
- Tebal pasir = 23 – 30 hari
- Tebal kerikil = 7,5 – 30 hari
- Slope = 1%
- Berat air dalam cake = 60%
- Sludge loading rate= 120 – 150 hari kg/solid kering/m².tahun m
(Sumber: Metcalf & Eddy Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse 4th edition, hal 1570-1572)

Rumus yang digunakan

- a. Volume lumpur bed (Vb)

$$V_b = V_{lum} \times t_d \dots\dots\dots(2.85)$$

Keterangan :

$$V = \frac{V_b}{\Sigma \text{bed}} \dots\dots\dots(2.86)$$

Keterangan :

V_b = Volume lumpur bed

Σbed = Jumlah bed

b. Volume cake sludge tiap bed (V_c)

$$V_c = \frac{V_{\text{lumpur tiap bed}} \times (1 - \text{kadar air})}{(1 - \text{berat air dalam cake})} \dots\dots\dots(2.87)$$

c. Luas permukaan

$$A = \frac{V_c}{\text{Tebal cake}} \dots\dots\dots(2.88)$$

Keterangan :

V_c = Volume cake sludge tiap bed

A = Luas permukaan

d. Volume air tiap bed

$$V_a = \text{Volume lumpur tiap bed} - V_c \dots\dots\dots(2.89)$$

e. Debit pipa effluent air

$$Q = \frac{V_a}{t_d} \dots\dots\dots(2.90)$$

Keterangan :

V_a = Volume air tiap bed

t_d = Waktu detensi

f. Diameter pipa underdrain

$$- Q = \frac{Q}{t_d} \dots\dots\dots(2.91)$$

$$- D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \dots\dots\dots(2.92)$$

Keterangan :

A = Luas permukaan (m^2)

V = Kecepatan (m/s)

Q = Debit air (m^3/s)

g. Tinggi (H)

$$H = \text{Tebal s.c} + \text{tebal pasir} + \text{tebal kerikil} + d \text{ underdrain} \dots \dots \dots (2.93)$$

h. Dimensi bed

$$A = L \times W \dots \dots \dots (2.94)$$

$$L = 2W$$

Keterangan :

L = Panjang bed (m)

W = Lebar bed (m)