

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Karakteristik Air Limbah

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan Pabrik Gula Kediri Jawa Timur yang mempunyai karakteristik limbah yang berbeda, sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2014 tentang baku mutu limbah cair.

II.1.1 Karakteristik yang Terkandung pada Air Limbah

Dalam menentukan kualitas dari sebuah air dapat dilihat dari kandungan- kandungan yang ada didalamnya. Adapun beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui kandungan sebuah air adalah sebagai berikut:

a. COD (Chemical Oxygen Demand)

COD (Chemical Oxygen Demand) atau kebutuhan oksigen kimiawi merupakan jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat-zat organik. Angka COD merupakan ukuran bagi beban pencemar air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya kondisi oksigen didalam air (Alaerth dan Santika, 1987).

Parameter COD dapat ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan hasil pencampuran bahan kimia berupa kapur dari proses produksinya di stasiun pemurnian. Kandungan COD air buangan industri gula ini adalah 880 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 100 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2014).

b. TSS (Total Suspended Solid)

TSS (Total Suspended Solid) dalam air limbah seperti pasir, liat, dan bahan organik. TSS jika dibuang ke badan air akan meningkatkan kekeruhan

dalam air dan jika berada di dasar perairan akan mengganggu proses perkembangbiakan hewan – hewan air (Alaerth dan Santika, 1987).

Parameter TSS dapat ditemukan karena limbah cair industri gula mengandung partikel padatan dari proses produksinya di stasiun gilingan, dan putaran. TSS juga merupakan parameter universal yang digunakan untuk standart effluent (bersama BOD) yang mana hasil dari pengolahan akan digunakan sebagai proses pengontrolan (Metcalf & Eddy, 2003). Kandungan TSS air buangan industri gula ini adalah 350 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2014).

c. BOD (Biological Oxygen Demand)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri aerobik melalui proses biologis (biological oxidation) secara dekomposisi aerobik. BOD merupakan salah satu empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD menggambarkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua senyawa organik yang terlarut dan yang sebagian tersuspensi di dalam air (Alaerth dan Santika, 1987).

Parameter BOD dapat ditemukan karena limbah cair industri gula mengandung unsur organik dari proses produksinya di stasiun masakan. Kandungan BOD air buangan industri gula ini adalah 450 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan sebesar 60 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur Tahun 2014).

d. Minyak dan Lemak

Lemak dan minyak membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam lemak. Gliserid dari asam lemak ini berupa cairan pada keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental sebagai lemak. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah untuk diuraikan oleh bakteri. Sebagai petunjuk dalam mengelola

air limbah, maka efek buruk yang dapat menimbulkan permasalahan pada dua hal yaitu pada saluran air limbah dan pada bangunan pengolahan. Apabila lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah dapat mempengaruhi kehidupan yang ada dipermukaan air, dan menimbulkan lapisan tipis di permukaan, sehingga membentuk selamut. Kadar lemak sebesar 15-20 mg/L merupakan batas yang bisa ditolerir apabila lemak berada di dalam air limbah (Sugiharto, 1987).

Parameter minyak dan lemak dapat ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan hasil dari pemisahan sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian. Kandungan minyak dan lemak air buangan industri gula ini adalah 12 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak dan lemak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 5 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2014).

e. Sulfida (H₂S)

Hidrogen sulfida (H₂S), adalah gas yang tidak berwarna, beracun, mudah terbakar dan berbau seperti telur busuk. Gas ini dapat timbul dari aktifitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik), seperti di rawa, dan saluran pembuangan kotoran. Gas ini juga muncul pada gas yang timbul dari aktivitas gunung berapi dan gas alam (Sugiharto, 1987). Hidrogen sulfida juga dikenal dengan nama sulfana, sulfur hidrida, gas asam (sour gas), sulfurated hydrogen, asam hidrosulfurik, dan gas limbah (sewer gas). IUPAC menerima penamaan "hidrogen sulfida" dan "sulfana"; kata terakhir digunakan lebih eksklusif ketika menamakan campuran yang lebih kompleks.

Parameter sulfida dapat ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan hasil dari pemurnian sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian dan masakan. Kandungan sulfida air buangan industri gula ini adalah 1,83 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak dan lemak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,5mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2014).

f. Derajat keasaman (pH)

pH merupakan sebuah parameter kualitas yang penting bagi air baku dan air limbah. Ukuran konsentrasi pH yang cocok bagi semua kehidupan biologis bisa dibidang 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).

Parameter pH dapat ditemukan karena limbah cair industri gula diproses dengan bahan campuran berupa kapur dan diatur derajat keasamannya menjadi basa agar waktu melalui pipa tidak mudah berkarat. Kandungan pH air buangan Industri Gula ini telah sesuai dengan Pergub Jatim Tahun 2014 yaitu di angka 7 dengan kata lain dapat disebut sebagai pH netral (Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2014).

II.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Menurut (Sugiharto, 1987) kegiatan pengolahan air limbah perlu dikelola dengan baik tergantung dari jenis kandungan limbahnya. Bangunan pengolahan air buangan mempunyai kelompok tingkat pengolahan, pengolahan air buangan dibedakan sebagai berikut:

II.2.1 Pengolahan Pendahuluan (Pre Treatment)

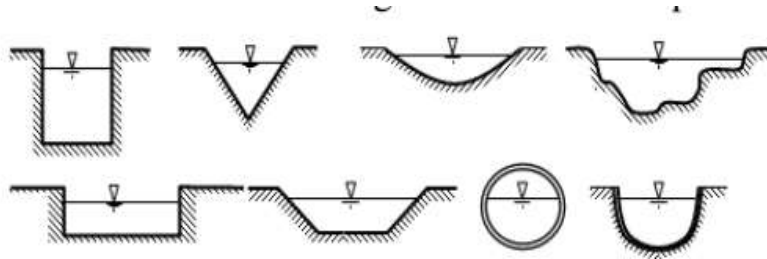
Proses pre-treatment adalah proses pengolahan awal secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar maupun sedang agar dapat mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Tujuan dari pengolahan ini memisahkan kerikil dan zat padat. Selain itu juga berfungsi sebagai media penyalur air limbah dari unit produksi industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan limbah. Unit pengolahan pre-treatment antara lain:

a. Saluran pembawa

Saluran pembawa merupakan saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Pada pre-treatment saluran pembawa digunakan sebagai penyalur air limbah dari unit produksi

ke bangunan pengolahan limbah. Saluran pembawa juga dibedakan menjadi dua, yaitu saluran pembawa terbuka dan tertutup.

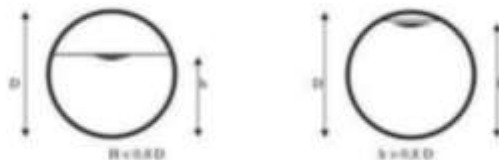
Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut.



Gambar 2. 1 Potongan Saluran Terbuka

(Sumber: <https://slideplayer.info/slide/14415070/>)

Sedangkan saluran tertutup (pipe flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.



Gambar 2. 2 Potongan Saluran Tertutup

(Sumber: <https://www.slideshare.net/jefrymaulana7/01-hidrolika>)

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut:

- Luas permukaan

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

v = kecepatan alir 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)

- Kedalaman Saluran Pembawa

$$H = \frac{A}{B} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = Lebar saluran pembawa (m)

$$H_{\text{total}} = H + (10\% - 30\% \times H) \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

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

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

$F_b = 10\% - 30\% H$

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

- Slope saluran pembawa

$$h = \frac{v^2}{2 \times g} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

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

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

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

$$H_f = n \times L \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

H_f = Headloss saluran pembawa (m)

n = Koefisien manning bahan

L = panjang saluran pembawa (m)

$$S = h_{\text{statis}} + H_f \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

S = Slope saluran pembawa (m)

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

H_f = Headloss saluran pembawa (m)

- Cek kecepatan

$$V = \frac{Q}{B \times H} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

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

B = Lebar saluran pembawa (m)

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

b. Bar Screen

Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah *screening*. Screen merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. (Metcalf & Eddy, 2003).

Prinsip dari screening adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan:

- Kerusakan pada alat pengolahan
- Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan
- Kontaminasi pada aliran air. (Metcalf & Eddy, 2003)

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini sebagai berikut

- Jumlah batang / kisi

$$W_s = n.d + (n+1). R \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

W_s = Lebar saluran pembawa = lebar screen (m)

n = Jumlah batang / kisi

d = Lebar batang (m)

r = Jarak antar batang (M)

- Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - n.d \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

W_s = Lebar saluran pembawa = lebar screen (m)

n = Jumlah batang / kisi

d = Lebar batang (m)

- Panjang kisi

$$X = \frac{y}{\sin \theta} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

x = Panjang kisi (m)

$\sin \theta$ = Kemiringan screen

y = Kedalaman total saluran pembawa = tinggi screen (m)

- Cek kecepatan setelah melalui kisi

$$v_i = \frac{Q}{W_c \cdot h} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

v_i = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

Q = Debit limbah (m³ /s)

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

h = Kedalaman total saluran pembawa = tinggi screen (m)

- Headloss pada bar screen

Saat non clogging

$$h_L = \frac{1}{C} \times \left(\frac{V_2^2 - v_2^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

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)

Saat clogging

$$h_L = \frac{1}{C} \times \left(\frac{V_2^2 - v_2^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

h_L = Headloss saat clogged screen

C = Koefisien discharge (0,6 untuk clogged screen)

V^2 = Kec. alir fluida di saluran pembawa saat tersumbat (m/s)

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

(Sumber : Metchalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 316*)

c. Bak penampung

Bak penampung adalah sebuah bak yang digunakan untuk menampung air limbah dari saluran pembawa. Bak penampung juga sebuah unit penyeimbang sehingga debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi dalam keadaan konstan. Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah, air limbah yang sudah dialirkan melalui saluran pembawa, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung agar debitnya konstan.



Gambar 2. 3 Bak Penampung

(Sumber: <https://www.tanindo.net/ipal-instalasi-pengolahan-air-limbah/>)

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut:

- Volume bak penampung

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

Dengan:

V = Volume bak penampung (m^3)

Q = Debit limbah (m^3/s)

t_d = Waktu detensi (s)

- Ketinggian total bak penampung

$$H_{total} = H + (10\% - 30\% \times H) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan:

H_{total} = Kedalaman total bak penampung (m)

H = Kedalaman bak penampung (m)

$F_b = 10\% - 30\% H$

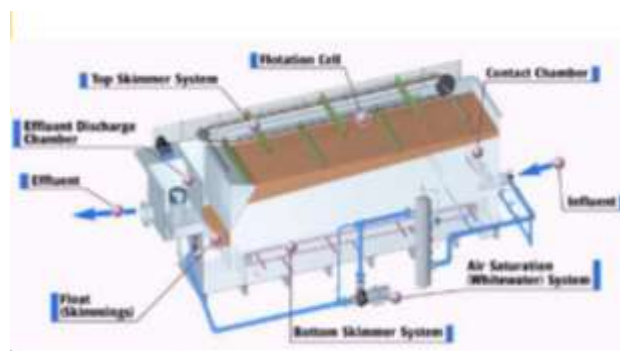
II.2.2 Pengolahan Pertama (Primary Treatment)

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

a. DAF (Dissolved Air Flotation)

Dissolved Air Flotation adalah proses menghilangkan minyak dan lemak, menghancurkan emulsi yang dikandungnya. Emulsi minyak dalam limbah dapat dilarutkan dalam berbagai cara, termasuk pemanasan, distilasi, pelepasan gelembung, senyawa perekat, sentrifugasi, dan penyaringan. Dari metode tersebut, ultrafiltrasi adalah metode yang paling efektif untuk memisahkan minyak dan asam lemak dari limbah industri yang diolah. Dalam sistem ini, udara larut dalam cairan di bawah tekanan beberapa atmosfer sampai jenuh, kemudian dilepaskan ke tekanan atmosfer.

Udara terlarut dipancarkan kembali dalam bentuk gelembung halus (30-120 mikron) sebagai akibat dari perubahan tekanan. Ukuran gelembung sangat penting dalam proses flotasi, dan semakin besar ukuran gelembung, semakin cepat kecepatan naiknya, sehingga kontak antara gelembung dan partikel tidak berjalan dengan baik. Dalam hal ini menyebabkan proses flotasi menjadi tidak efektif.



Gambar 2. 4 Proses Dissolved Air Flotation

(Sumber: <https://slideplayer.info/slide/13518720/>)

Unit pengolahan DAF menggunakan konsep flotasi dan koagulasi-flokulasi dalam sistem pengolahan sebagai berikut:

- **Flotasi**

Flotasi merupakan unit pemisah pada fase cair atau fasa padat dari fasa cair. Pemisahan partikel dari cairan flotasi didasarkan pada perbedaan berat jenis partikel dengan bantuan gelembung udara. Proses flotasi dibagi menjadi 3 jenis, antara lain:

- **Air Flotation**

Udara akan masuk ke dalam fluida dengan menggunakan mekanisme rotor-disperser. Rotor yang terendam dalam fluida akan mendorong udara menuju bukan disperser sehingga udara bercampur dengan air sehingga partikel yang mengapung disisihkan. Sistem ini memiliki keuntungan antara lain tidak memerlukan area yang luas dan lebih efektif dalam menyisihkan partikel minyak.

- **Dissolved Air Flotation (DAF)**

Melakukan pengapungan dengan melarutkan udara ke dalam fluida dengan tekanan yang tinggi kemudian dilepaskan dalam tekanan atmosfer. Penggabungan dari gelembung-gelembung gas halus dengan suspended solid atau oil mengakibatkan penurunan gravitasi sehingga menambah daya pengapungan.

- **Vacum Flotation**

Limbah cair diaerasi hingga jenuh sehingga akan terbentuk gelembung udara yang akan lolos ke atmosfer dengan mengangkat partikel-partikel ke atas. Pada tugas perancangan ini kelompok kami menggunakan jenis Dissolved Air Flotation (DAF).

- **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 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):

- 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.

- Derajat Keasaman (pH)

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

- Jenis Koagulen

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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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 berperan dalam upaya penggabungan flok. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012).

Pada pengolahan DAF terdapat bak pembubuh untuk menambahkan koagulan pada bak DAF. Rumus yang digunakan pada bak pembubuh adalah sebagai berikut:

- Kebutuhan koagulan

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{dosis koagulan} \times Q \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

Kebutuhan koagulan = jumlah koagulan tiap hari (kg/hari)

Dosis koagulan = dosis optimum koagulan (mg/L)

Tabel 2.1 Jenis Koagulan dalam Proses Pengolahan Air

Nama Kimia	Nama Lain	Rumus Kimia	Berat Molekul	Wujud	Densitas bulk, kg/m ³	Specific Gravity	Kelarutan dalam Air, kg/m ³	Kadar Kimia %w/w	Kadar Air % w/w	pH larutan
Aluminium sulfat	Alum	Al ₂ (SO ₄) ₃ .14,3H ₂ O	599,77	Putih terang, padat	1000-1096	1,25-1,36	Sekitar 872	Al: 9,0-9,3		Sekitar 3,5
	Alum cair	Al ₂ (SO ₄) ₃ .49,6H ₂ O	1235,71	Putih atau terang- abu abu kekuningan, cair		1,30-1,34	Sangat larut	Al: 4,0-4,5	71,2-74,5	
Ferri klorida	Besi (III) klorida, Besi triklorida	FeCl ₃	162,21	Hijau-hitam, bubuk	721-962		Sekitar 719	Fe: kira2 34		
	Ferri klorin cair	FeCl ₃ .6H ₂ O	270,30	Kuning-coklat, bongkahan	962-1026		Sekitar 814	Fe: 20,3-21,0		
		FeCl ₃ .13,1H ₂ O	398,21	Coklat kemerahan, cair		1,20-1,48	Sangat larut	Fe: 12,7-14,5	56,5-62,0	0,1-1,5
Ferri sulfat	Besi (III) sulfat, Besi persulfat	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .9H ₂ O	562,02	Merah-coklat, bubuk	1122-1154			Fe: 17,9-18,7		
	Ferri sulfat cair	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .36,9H ₂ O	1064,64	Coklat kemerahan, cair		1,40-1,57	Sangat larut	Fe: 10,1-12,0	56,5-64,0	0,1-1,5
Ferro sulfat	Copperas	FeSO ₄ .7H ₂ O	278,02	Hijau, bongkahan kristal	1010-1058			Fe: Sekitar 20		

(Sumber: Qasim, Syed R. 1985. *Wastewater Treatment Plant: Planning, Design, and Operation*, page 161. New York: CBS College Publishing)

- Volume tangki koagulan

$$V = \frac{\text{kebutuhan koagulan}}{p \text{ koagulan}} \times \text{periode pelarutan} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

V = volume koagulan (m³)

Kebutuhan koagulan = jumlah koagulan tiap hari (kg/hari)

koagulan = massa jenis koagulan (kg/m³)

pelarutan = lama pelarutan (hari)

- Kedalaman air di dalam tangki koagulan

$$V = V_{\text{koagulan}} + V_{\text{air pelarut}} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

V = volume tangki koagulasi (m³)

V_{koagulan} = volume koagulan (m³)

V_{air pelarut} = volume air pelarut (m³)

td = waktu detensi (s)

D = diameter tangki pembubuh (m)

H = kedalaman air dalam tangki pembubuh (m)

- Suplai tenaga ke air

$$P = G^2 \times \mu \times V \dots\dots\dots (2.20)$$

(Sumber: Reynold, halaman 187)

Keterangan:

P = suplai tenaga ke air (watt)

G = gradien kecepatan (L/s)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

V = volume total tangki pembubuh (m³)

Tabel 2.2 Nilai gradien kecepatan dan waktu pengadukan

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (1/detik)
20	1000
30	900
40	790
50	700

(Sumber: Reynolds, 1996, page 184)

- Diameter impeller

$$D_i = \left(\frac{P}{K_T \times n^3 \times \rho} \right)^{1/5} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller/pengaduk (m)

P = suplai tenaga ke air (watt)

K_T = konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

n = kecepatan putaran (rps)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

Tabel 2.3 Kriteria Impeller

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

(Sumber: Reynolds, 1996, page 184 & 185)

Tabel 2.4 Konstanta K_T dan K_L

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, 4 flat blades, vaned disc	65	5,75
Turbine, 6 curved blades	70	4,8
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), $D_i/W_i = 4$	43	2,25
Flat Paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 6$	36,5	1,7
Flat Paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 8$	33	1,15
Flat Paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$	49	2,75
Flat Paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 8$	71	3,82

(Sumber: Reynolds, 1996, page 188)

- Cek bilangan Reynold

$$NRe = \frac{(D_2)^2 \times n \times \rho}{\mu} \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan:

NRe = bilangan Reynold

D_i = diameter impeller/pengaduk (m)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

μ = viskositas absolut (N.s/m^2)

(Sumber: Reynold, 1996)

- Rumus yang digunakan pada bak flotasi adalah sebagai berikut:

- Tekanan Udara (P)

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 \times s_a ((f \times P)^{-1})}{s_a} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan:

P = Tekanan Udara (atm)

s_a = Kelarutan udara (ml/liter)

f = Fraksi Kelarutan Udara

S_a = Influent Minyak & Lemak (mg/L)

A/S = Rasio Udara per Padatan (ml/mg)

- Volume bak flotasi

$$V = (Q_{\text{limbah}} + Q_{\text{pembubuh}}) \times t_d \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan:

V = Volume bak flotasi (m³)

Q limbah = Debit limbah masuk (m³/detik)

Q pembubuh = Debit pembubuh (m³/detik)

t_d = waktu detensi (detik)

- Dimensi bak flotasi

$$V = L \times B \times H \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan :

V = Volume bak flotasi (m³)

L = Panjang bak (m)

B = Lebar bak (m)

H = Kedalaman air pada bak (m)

- Kedalaman bak flotasi

$$H_{\text{total}} = H + \text{freeboard} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan:

H total = kedalaman bak (m)

H = Ketinggian Air dalam bak penampung (m)

Freeboard = 5% - 30%

- Surface Loading Rate (SLR)

$$SLR = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan:

SLR = Surface Loading Rate

Q = Debit Air Limbah (m³/detik)

A = Luas permukaan (m²)

- Jari- Jari Hidrolis

$$R = \frac{\text{Luas keliling basah}}{\text{Keliling penampang basah}} = \frac{B \times H}{B + (2H)} \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan:

R = Jari – jari Hidrolis (m)

H = Ketinggian Air dalam bak penampung (m)

B = Lebar bak penampung (m)

➤ Rumus yang digunakan pada bak penampung minyak, sebagai berikut:

- Minyak dan lemak tersisihkan

Minyak dan lemak tersisih = Influent x % removal (2.29)

- Massa Minyak dan lemak yang tersisihkan

m tersisih = Minyak dan lemak tersisih x Q (2.30)

- Debit Minyak dan lemak Tersisihkan

$$Q_m = \frac{m \text{ tersisih}}{\rho \text{ minyak}} \dots\dots\dots (2.31)$$

Keterangan:

Q_m = Debit minyak tersisihkan (m^3 /hari)

m tersisih = massa minyak dan lemak tersisih (kg/hari)

ρ minyak = massa jenis minyak (kg/m^3)

- Volume bak penampung

$$V_{BPM} = Q_m \times t_d \dots\dots\dots (2.32)$$

Keterangan:

V_{BPM} = volume bak penampung (m^3)

Q_m = Debit minyak tersisihkan (m^3 /hari)

t_d = waktu tinggal (hari)

- Dimensi Bak Penampung

$$V = L \times B \times H \dots\dots\dots (2.33)$$

$$H_{\text{total}} = H + \text{freeboard} \dots\dots\dots (2.34)$$

Keterangan:

V = Volume bak flotasi (m^3)

L = Panjang bak (m)

B = Lebar bak (m)

H = Kedalaman air pada bak (m)

H total = kedalaman bak (m)

Freeboard = 5% - 30%

➤ Rumus yang digunakan pada kebutuhan udara sebagai berikut:

- Kebutuhan Teoritis

$$\text{Keb. Teoritis} = \text{Jml. minyak\&lemak yang tersisih} \dots\dots\dots (2.35)$$

- Kebutuhan O₂ teoritis

$$\text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} = \text{Kebutuhan teoritis} \times f \dots\dots\dots (2.36)$$

Keterangan :

$$\text{Kebutuhan teoritis} = \text{kebutuhan teoritis (kg/hari)}$$

f = faktor desain

- Σ Kebutuhan O₂ teoritis

Σ Kebutuhan O² teoritis

$$= \frac{\text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{\text{berat stand udara} \times \text{O}_2 \text{ dalam udara}} \dots\dots\dots (2.37)$$

Keterangan :

$$\text{Kebutuhan O}^2 \text{ teoritis} = \text{kebutuhan teoritis (kg/hari)}$$

$$\text{Berat standar udara} = \text{berat standar udara (kg/ m}^3\text{)}$$

$$\text{O}^2 \text{ dalam udara} = \text{Oksigen dalam udara (\%)} \text{)}$$

- Kebutuhan O² aktual

$$\text{Kebutuhan O}^2 \text{ aktual} = \frac{\Sigma \text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{\text{efisiensi diffuser}} \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan :

$$\text{Keb. O}^2 \text{ aktual} = \text{Kebutuhan oksigen actual (m}^3\text{/menit)}$$

$$\text{Kebutuhan O}^2 \text{ teoritis} = \text{kebutuhan teoritis (kg/hari)}$$

$$\text{Efisiensi diffuser} = \text{Efisiensi pada diffuser (\%)} \text{)}$$

➤ Rumus untuk desain perpipaan blower adalah sebagai berikut:

- Panjang Pipa Lateral

$$L_L = \frac{\text{Lebar bak flotasi} - \text{Ø pipa manifold}}{2} \text{ jrk. pipa ke dinding..(2.39)}$$

- Jumlah pipa lateral pada tiap sisi pipa manifold

$$L_M = n \cdot D_L + (n + 1) \cdot r_L \dots\dots\dots (2.40)$$

- Diffuser tiap pipa lateral

$$\text{Diffuser tiap pipa lateral} = \frac{\text{total pipa diffuser}}{\text{jumlah pipa lateral}} \dots\dots\dots (2.41)$$

- Jarak antar diffuser

$$\frac{\text{pjl. pipa lateral} - (\text{pjl diffuser} \times \text{jml diffuser tiap pipa lateral})}{\text{jumlah diffuser tiap pipa lateral}} \dots\dots\dots (2.42)$$

- Jumlah lubang orifice pada tiap pipa lateral (n)

$$L_L = (n + 1) r + (n \times D_o) \dots\dots\dots (2.43)$$

Keterangan:

LM = panjang pipa manifold (m)

LL = panjang pipa lateral (m)

DM = Diameter pipa manifold (m)

DL = Diameter pipa lateral (m)

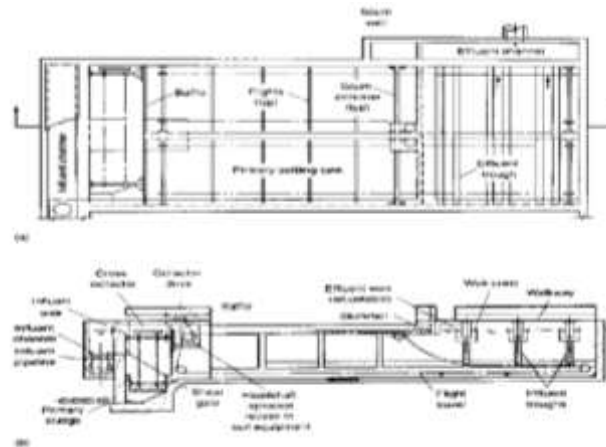
DO = diameter lubang orifice (m)

rL = jarak antar pipa lateral (m)

rO = jarak antar lubang orifice (m)

c. Bak Pengendap I (Sedimentasi)

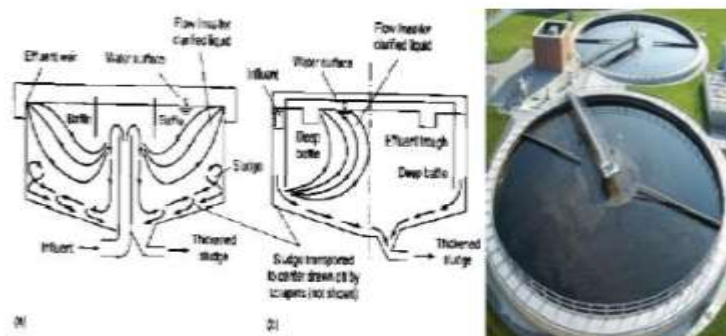
Sedimentasi adalah proses pemisahan partikel solid dari suspensi menggunakan gaya gravitasi dimana suspensi terpisah menjadi cairan yang lebih jernih dan suspensi yang lebih pekat (Al Layla, 1978). Salah satu pengolahan air limbah yang paling umum digunakan adalah proses sedimentasi. Proses sedimentasi digunakan untuk menghilangkan partikel diskrit, flokulen, dan presipitat dalam pengolahan air (Al-Layla, 1978). Efisiensi kemampuan penyisihan TSS pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh aliran angin, suhu udara permukaan, suhu menyebabkan perubahan kekentalan air, suhu terstratifikasi dari iklim, dan bilangan eddy.



Gambar 2.5 Bak Pengendap 1 berbentuk rectangular

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Distribusi aliran pada bak persegi diatas sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk lebar saluran inlet dengan inlet limpahan, saluran inlet dengan port dan orifice, saluran inlet dengan lebar bukaan dan slotted baffles. (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2.6 Bak Pengendap 1 berbentuk circular

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

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. 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).

Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah, saat air limbah sudah

membentuk gumpalan-gumpalan besar (flocculant), maka selanjutnya adalah flocculant dialirkan menuju bak sedimentasi agar flocculant tersebut mengendap. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

➤ Rumus untuk zona settling adalah sebagai berikut:

- Luas penampang (A)

$$A = \frac{Q}{\text{ORF}} \dots\dots\dots (2.44)$$

Keterangan:

A = luas penampang bak (m²)

Q = debit air limbah (m³ /hari)

ORF = Over flow rate (m/hari)

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 409)

- Diameter bak (D)

$$D = \frac{\sqrt{4 \times A}}{n} \dots\dots\dots (2.45)$$

Keterangan:

D = diameter bak pengendap 1 (m)

A = luas penampang bak (m²)

- Diameter inlet well (D_w)

$$D_w = (15\% - 20\%) \times D \dots\dots\dots (2.46)$$

Keterangan:

D_w = diameter inlet well (m)

D = diameter bak pengendap 1 (m)

- Volume bak (V)

$$V = Q \times t_d \dots\dots\dots (2.47)$$

Keterangan:

V = volume bak pengendap 1 (m³)

Q = debit air limbah (m³ /hari)

- Kedalaman zona settling

$$H_{Settling} = \frac{V}{A} \dots\dots\dots (2.48)$$

Keterangan:

$H_{Settling}$ = kedalaman zona settling (m)

V = volume bak pengendap 1 (m³)

A = luas penampang (m²)

$$H_{total} = H_{Settling} + fb \dots\dots\dots (2.49)$$

Keterangan:

H_{total} = kedalaman total bak pengendap 1 (m)

$H_{Settling}$ = kedalaman zona settling (m)

fb = freeboard (10-30% x H)

- Kecepatan pengendapan (v_s)

$$V_s = \frac{H_{total}}{t_d} \dots\dots\dots (2.50)$$

Keterangan:

V_s = kecepatan pengendapan (m/detik)

H_{total} = kedalaman total bak pengendap 1 (m)

t_d = waktu detensi (detik)

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 368)

- Diameter partikel (D_p)

$$D_p = \frac{\sqrt{V_s \times 18 \times \nu}}{g (sg - 1)} \dots\dots\dots (2.51)$$

Keterangan:

D_p = diameter partikel (m)

v_s = kecepatan pengendapan (m/detik)

ν = viskositas kinematis (m²/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

sg = Specific gravity

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 413)

- Cek bilangan Reynold

$$N_{Re} = \frac{\rho s \times D_p \times v_s}{\mu} \dots\dots\dots (2.52)$$

Keterangan:

N_{Re} = bilangan Reynold

D_p = diameter partikel (m)

v_s = kecepatan pengendapan (m/detik)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

s = massa jenis partikel (kg/m³)

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

- Kecepatan horizontal

$$V_h = \frac{Q}{2 \times \pi \times r \times h} \dots\dots\dots (2.53)$$

Keterangan:

v_h = kecepatan horizontal (m/detik)

Q = Debit air limbah (m³ /detik)

r = jari-jari bak pengendap 1 (m)

h = kedalaman bak pengendap 1 (m)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 228. Boston: PWS Publishing Company)

- Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{r \times H}{r + (2H)} \dots\dots\dots (2.54)$$

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

r = jari-jari bak pengendap 1 (m)

H = kedalaman bak pengendap 1 (m)

- Cek bilangan Reynold

$$NRe = \frac{v_h \times R}{\mu} \dots\dots\dots (2.55)$$

Keterangan:

v_h = kecepatan horizontal (m/detik)

R = jari-jari hidrolis (m)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- Cek bilangan Froude

$$NFR = \frac{v_h}{\sqrt{g \times h}} \dots\dots\dots (2.56)$$

Keterangan:

NFR = bilangan froude

v_h = kecepatan horizontal (m/detik)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = kedalaman bak pengendap 1 (m)

- Kecepatan Scouring

$$V_{sc} = \sqrt{\left(\frac{8k(Sg-1) \times g \times dp}{f}\right)} \dots\dots\dots (2.57)$$

Keterangan:

F = Faktor friksi Darcy-Weisbach (0,02-0,03)

k = Konst. kohesi partikel yang saling mengikat (0,06)

(Sumber: Qasim, Syed R. Wastewater Treatment Plant: Planning, Design, and Operation, vol.1, hal 9-21. New York: CBS College Publishing)

- Rumus untuk zona sludge adalah sebagai berikut:

- Penyisihan TSS

$$TSS \text{ teremoval} = TSS \text{ influent} \times \% \text{ removal} \dots\dots\dots (2.58)$$

Keterangan:

TSS teremoval = kadar TSS teremoval (mg/L)

TSS influent = kadar TSS yang masuk (mg/L)

% removal = persen TSS teremoval dalam bak pengendap 1 (%)

- TSS effluent

$$\text{TSS effluent} = \text{TSS influent} - \text{TSS teremoval} \dots\dots\dots (2.59)$$

Keterangan:

TSS effluent = kadar TSS yang keluar dari bak pengendap 1 (mg/L)

TSS teremoval = kadar TSS teremoval (mg/L)

TSS influent = kadar TSS yang masuk (mg/L)

- Berat TSS teremoval

$$m = \text{TSS teremoval} \times Q \dots\dots\dots (2.60)$$

Keterangan:

TSS teremoval = kadar TSS teremoval (mg/L)

Q = debit air limbah (m³ /hari)

- Volume TSS teremoval

$$V_{TSS} = \frac{m}{\rho_{\text{solid}}} \dots\dots\dots (2.61)$$

Keterangan:

V_{TSS} = volume TSS teremoval (m³ /hari)

m = berat TSS teremoval (kg/hari)

ρ_{solid} = massa jenis solid (kg/m³)

- Berat air teremoval

$$m_{\text{air}} = \frac{100\% - \%TSS}{\%TSS} \times m \dots\dots\dots (2.62)$$

Keterangan:

m_{air} = berat air teremoval (kg/hari)

m = berat TSS teremoval (kg/hari)

- Volume air teremoval

$$V_{\text{air}} = \frac{m_{\text{air}}}{\rho_{\text{air}}} \dots\dots\dots (2.63)$$

Keterangan:

V_{air} = volume air teremoval (m³/hari)

m_{air} = berat air teremoval (kg/hari)

ρ_{air} = massa jenis air (kg/m³)

- Volume sludge

$$V_{\text{sludge}} = V_{\text{TSS}} + V_{\text{air}} \dots\dots\dots (2.64)$$

Keterangan:

V_{sludge} = volume sludge (m³ /hari)

V_{TSS} = volume TSS teremoval (m³ /hari)

V_{air} = volume air teremoval (m³ /hari)

- Berat sludge

$$m_{\text{sludge}} = V_{\text{sludge}} \times \rho_{\text{sludge}} \dots\dots\dots (2.65)$$

Keterangan:

m_{sludge} = berat sludge (kg/hari)

V_{sludge} = volume sludge (m³ /hari)

ρ_{sludge} = massa jenis sludge (kg/m³)

- Volume ruang lumpur

$$V = \frac{1}{3} \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + Rr) \dots\dots\dots (2.66)$$

Keterangan:

V = volume ruang lumpur (kerucut terpancung)

H = kedalaman ruang lumpur (m)

R = jari-jari permukaan atas (m)

r = jari-jari permukaan bawah (m)

- Debit pengurasan

$$Q_{\text{lumpur}} = \frac{V_{\text{lumpur}}}{t} \dots\dots\dots (2.67)$$

Keterangan:

Q_{lumpur} = debit pengurasan (m³ /detik)

V_{lumpur} = volume lumpur (m³)

t = lama pengurasan (detik)

➤ Rumus untuk zona outlet adalah sebagai berikut:

- Panjang pelimpah (weir)

$$L = \pi \times D_{\text{bak}} \dots\dots\dots (2.68)$$

Keterangan:

L = panjang pelimpah (m)

D = diameter bak pengendap 1 (m)

- Jumlah v notch

$$n = \frac{L_{weir}}{r_{weir}} \dots\dots\dots (2.69)$$

Keterangan:

n = jumlah v notch

Lweir = panjang pelimpah (m)

rweir = jarak antar weir (m)

(Sumber: Syed R. Qasim, *Wastewater Treatment and Reuse, Vol 1, Guang Zhu, hal: 9-21 9-26, 459-460*)

- Debit air melalui v notch

$$Qv = \frac{Q}{n} \dots\dots\dots (2.70)$$

Keterangan:

Qv = debit air yang melalui v notch (m³ /detik)

Q = debit air limbah (m³ /detik)

n = jumlah v notch

- Tinggi limpahan v notch

$$Qv = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{90}{2} \times H^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots (2.71)$$

Keterangan:

Qv = debit air yang melalui v notch (m³ /detik)

Cd = koefisien drag

g = percepatan gravitasi (m/s²)

H = tinggi limpahan melalui v notch

- Luas penampang saluran pelimpah

$$A = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots (2.72)$$

Keterangan:

A = luas penampang saluran pelimpah (m²)

Q = debit air limbah (m³/detik)

v = kecepatan aliran (m/s)

- Kedalaman saluran pelimpah

$$h_{\text{total}} = h + fb \dots\dots\dots (2.73)$$

Keterangan:

h_{total} = kedalaman total saluran pelimpah (m)

h = kedalaman saluran pelimpah (m)

fb = freeboard (5%-30% x h)

d. Bak Ekualisasi

Fungsi bak ekualisasi adalah untuk mengendapkan butiran kasar dan merupakan unit penyeimbang. Dalam prosesnya, bak ekualisasi sering digunakan sebagai salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan pengolahan air buangan yang terjadi akibat adanya fluktuasi konsentrasi beban pencemar. Bak ekualisasi harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak penampung atau saluran (Metcalf & Eddy, 2003).

Keuntungan proses ekualisasi untuk mengolah limbah adalah:

- Dapat mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah shock loading pada proses biologis.
- Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia
- Meminimumkan aliran pada proses pengolahan fisik – kimia dan mengetahui rata-rata kebutuhan bahan kimia.
- Memberikan kapasitas untuk mengontrol aliran limbah.
- Mencegah tingginya konsentrasi bahan berbahaya yang masuk pada proses pengolahan biologis.
- Pencampuran selalu diberikan pada proses ekualisasi dan untuk mencegah pengendapan zat padat pada dasar bak. Pada proses pencampuran, oksidasi dapat mengurangi bahan organik atau BOD (10- 20% tersisihkan) oleh udara dalam air limbah dari proses pencampuran dan aerasi. Untuk metode yang digunakan pada proses pencampuran ialah distribution of inlet flow and baffle, turbine

mixing, diffused air aeration, dan mechanical aeration (Reynold, 1996).

Bak ekualisasi di desain untuk menyamakan aliran. Debit atau aliran serta konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan dalam bak ekualisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2.7 Bak Ekualisasi

(Sumber: <http://ciptakarya.pu.go.id/plp/upload/peraturan/pedoman-teknis-ipal-2011.pdf>)

Cara kerja dari unit ini adalah saat air limbah sudah dialirkan melalui bak sedimentasi, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak ekualisasi agar debitnya konstan. Adapun rumus yang digunakan pada unit diatas adalah sebagai berikut:

- Volume bak ekualisasi

$$V = Q \times t_d \dots\dots\dots (2.74)$$

Keterangan:

V = volume bak ekualisasi (m³)

Q = debit air limbah (m³ /detik)

t_d = waktu detensi (detik)

- Kebutuhan oksigen

$$\text{Keb.DO} = \text{DO air buangan} - \text{DO minimum} \dots\dots\dots (2.75)$$

Keterangan:

Keb.DO = kebutuhan oksigen terlarut dalam air (mg/L)

DO air buangan = kadar minim oksigen terlarut air (mg/L)

DO minim = kadar oksigen terlarut air limbah (mg/L)

- Dimensi Bak Ekualisasi

$$V = L \times B \times H \dots\dots\dots (2.76)$$

Keterangan:

V = Volume bak penampung (m³)

L = Panjang (m)

B = Lebar (m)

H = kedalaman (m)

- Kedalaman total

$$H_{\text{total}} = H + \text{Freeboard} \dots\dots\dots (2.77)$$

Keterangan:

H = Ketinggian Air dalam bak penampung (m)

Freeboard = 5% - 30%

II.2.3 Pengolahan Kedua (Secondary Treatment)

Menurut (Sugiharto, 1987), pada proses pengolahan tahap kedua ini, proses yang terjadi yaitu secara biologis. Pada proses ini bertujuan untuk mengurangi bahan-bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kekotoran, dan lain sebagainya.

a. Lumpur Aktif (Activated Sludge)

Pengolahan lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon). BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut sebagai substrat. Adapun proses didalam activated sludge, yaitu:

➤ Konvensional

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



Gambar 2.8 Activated Sludge Konvensional

(Sumber: <https://slideplayer.info/slide/17616813/>)

➤ 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)

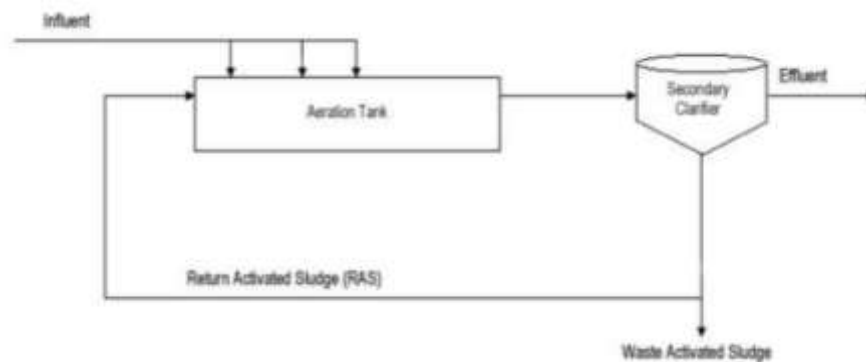
Parameter ini merupakan indikasi beban organik yang masuk kedalam sistem lumpur aktif dan diwakili nilainya dalam kilogram BOD per kilogram MLSS per hari (Curds dan Hawkes, 1983; Nathanson, 1986).

➤ Non Konvensional

• **Step Aeration**

- Termasuk type plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme yang menurun menuju outlet
- Pada inlet air buangan akan masuk melalui 3 – 4 titik tangki aerasi yang bertujuan menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dalam mengurangi tingginya kebutuhan oksigen dititik yang paling awal.

- Keuntungan dari step aeration ialah memiliki waktu detensi yang lebih pendek.

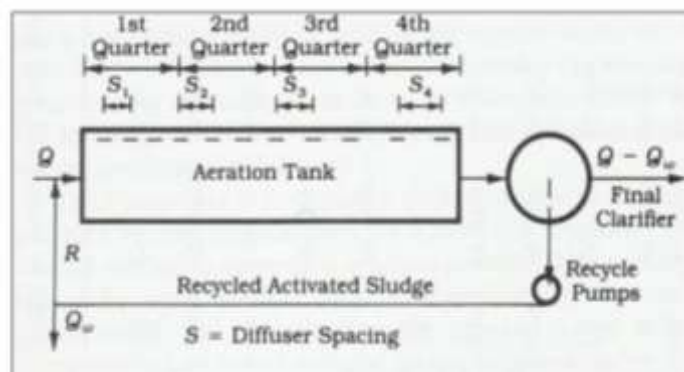


Gambar 2.9 Activated Sludge Step Aeration

(Sumber: <https://dnr.wi.gov/regulations/opcert/documents/wwsagactsludgeintro.pdf>)

- **Tapered Aeration**

- Termasuk sama dengan step aerasi, namun pada tapered aerasi ini memiliki injeksi udara dititik awal yang lebih tinggi.



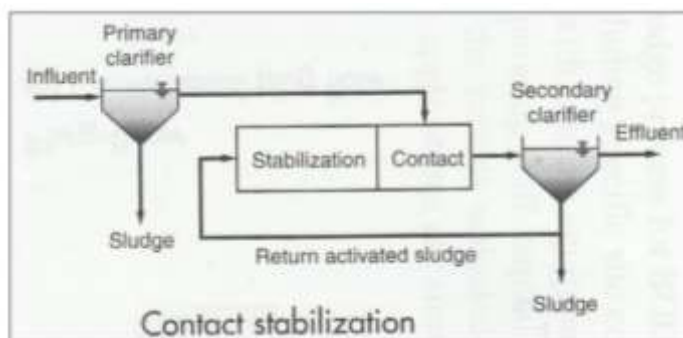
Gambar 2.10 Activated Sludge Tapered Aeration

(Sumber: https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5_2018_12_15!08_58_32_PM.pdf)

- **Contact Stabilization**

- Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu:
- Contact tank, berfungsi untuk mengabsorbsi bahan organik agar dapat memproses lumpur aktif.

- Reaeration tank, berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang telah di adsorbs (proses stabilisasi).



Gambar 2.11 Activated Sludge Contact Stabilization

(Sumber: https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5_2018_12_15!08_58_32_PM.pdf)



Gambar 2.12 Aerated Activated Sludge

(Sumber: <https://cropaia.com/blog/activated-sludge/>)

Adapun rumus yang digunakan pada pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- Partikulat BOD Effluent

$$\text{BOD}_{\text{ss}} = \text{BOD}_{\text{efflt}} \times (\text{MLVSS}/\text{MLVSS}) \times \text{FB} \dots\dots\dots (2.78)$$

$$\text{BOD}_{\text{terlarut}} = \text{BOD}_{\text{effluent}} - \text{BOD}_{\text{ss}} \dots\dots\dots (2.79)$$

Keterangan:

VSS/SS = ratio perbandingan

VSS dan SS FB = Fraksi biodegradable VSS

(Sumber: Marcos Von, *Activ. Sludge and ABR*, Page 29)

- Efisiensi sistem dalam penyisihan BOD

$$E\% = \frac{BOD\ influent - BOD\ terlarut}{BOD\ influent} \dots\dots\dots (2.80)$$

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 30)

- Debit resirkulasi

$$Q_r = R \times Q_o \dots\dots\dots (2.81)$$

Keterangan:

Q_r = Debit resirkulasi (m³ /detik)

Q_o = Debit air limbah awal (m³ /detik)

R = rasio resirkulasi

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 36)

- Debit total bioreaktor

$$Q_{tot} = Q_o + Q_r \dots\dots\dots (2.82)$$

Keterangan:

Q_{tot} = Debit total (m³/detik)

Q_r = Debit Resirkulasi (m³ /detik)

Q_o = Debit air limbah awal (m³ /detik)

- Konsentrasi BOD dalam bioreaktor (S_a)

$$S_a = \frac{(S_o \times Q_o) + (S_r \times Q_r)}{(Q_o + Q_r)} \dots\dots\dots (2.83)$$

Keterangan:

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_r = konsentrasi BOD resirkulasi (mg/L)

S_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_r = Debit Resirkulasi (m³/detik)

Q_o = Debit air limbah awal (m³/detik)

- Volume bioreaktor

$$V = \frac{Y \times \theta_c \times Q_a \times (S_o - S_a)}{X_{ax} (1 + K_d \times F_b \times \theta_c)} \dots\dots\dots (2.84)$$

Keterangan:

V = volume bioreaktor

Y = Yield Coefficient (g VSS / g BOD5 removed)

θ_c = umur lumpur (hari)

Sa = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

So = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Qa = Debit air limbah total (m³/detik)

Xa = MLVSS (mg/L)

Kd = Endogenous Respiration Coefficient (g VSS / g VSS.d) FB = Biodegradable fraction of VSS

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 21)

- Kedalaman bioreaktor

$$H_{total} = H + fb \dots \dots \dots (2.85)$$

Keterangan:

H total = kedalaman total bioreaktor (m)

H = kedalaman bioreaktor (m)

fb = freeboard (5%-30% x h)

- Waktu tinggal hidrolis

$$td = \left[\frac{L \times W \times H}{Q_a \times 86400} \right] \times 24 \dots \dots \dots (2.86)$$

Keterangan:

td = waktu tinggal hidrolis (jam)

L = panjang bioreaktor (m)

W = lebar bioreaktor (m)

H = kedalaman bioreaktor (m)

Qa = Debit air limbah total (m³/detik)

- F/M rasio

$$F/M = \frac{S_a}{td \times X_a} \dots \dots \dots (2.87)$$

Keterangan:

Sa = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

Xa = MLVSS (mg/L)

td = waktu tinggal hidrolis (jam)

- Konsentrasi resirkulasi lumpur

$$X_r = \frac{X_a(Q_o + Q_r)}{Q_r} \dots\dots\dots (2.88)$$

Keterangan:

X_r = konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

Q_r = Debit Resirkulasi (m³/detik)

Q_o = Debit air limbah awal (m³/detik)

X_a = MLVSS (mg/L)

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 35)

- Produksi lumpur tiap hari

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + Fb + Kd + \theta_c} \dots\dots\dots (2.89)$$

$$S_r = Q_a \times (S_o - S_a) \dots\dots\dots (2.90)$$

$$P_x = Y_{obs} \times S_r \dots\dots\dots (2.91)$$

$$P_x = \frac{P_{xv}}{VSS/SS} \dots\dots\dots (2.92)$$

Keterangan:

P_x = produksi lumpur (kg/hari)

Y_{obs} = Koefisien observed yield

Y = Yield Coefficient (g VSS / g BOD₅ removed)

θ_c = umur lumpur (hari)

K_d = Endogenous Respiration Coefficient (gVSS/g VSS.d)

Fb = Biodegradable fraction of VSS

S_r = penyisihan beban BOD (kg/hari)

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_a = Debit air limbah total (m³/detik)

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 39)

- Debit lumpur yang dibuang

$$Q_{exs} = \frac{V}{\theta_c} \dots\dots\dots (2.93)$$

$$Q_{exs} = \frac{V}{\theta_c} \times \frac{X}{X_r} \dots\dots\dots (2.94)$$

Keterangan:

V = volume bioreaktor

θ_c = umur lumpur (hari)

X = MLSS (mg/L)

Xr = konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 43 - 44)

• Volume lumpur

$$V_{\text{lumpur}} = \frac{P_x}{\rho_{\text{lumpur}} \times C} \times \theta_c \dots\dots\dots (2.95)$$

Keterangan:

V_{lumpur} = volume lumpur (m³)

P_x = produksi lumpur (kg/hari)

ρ_{lumpur} = massa jenis lumpur (kg/m³)

C = konsentrasi lumpur

θ_c = umur lumpur (hari)

• Kebutuhan oksigen

$$\text{Kebutuhan teoritis} = O_2/S_r \times S_r \dots\dots\dots (2.96)$$

$$\text{Keb. } O_2 \text{ teoritis} = \text{keb. teoritis} \times \text{factor desain} \dots\dots\dots (2.97)$$

$$\text{Keb. Udara teoritis} = \frac{\text{kebutuhan } O_2 \text{ teoritis}}{\text{berat stand. udara} \times \% O_2 \text{ udara}} \dots\dots\dots (2.98)$$

$$\text{Keb. Udara actual} = \frac{\text{kebutuhan udara teoritis}}{\text{efisiensi blower}} \dots\dots\dots (2.99)$$

• Desain perpipaan diffuser

$$\text{Panjang pipa lateral (LL)} = \frac{W_{\text{bioreaktor-DM}}}{2} \dots\dots\dots (2.100)$$

$$LM = (n \times DL) + ((n + 1) \times rL) \dots\dots\dots (2.101)$$

$$LL = (n \times DO) + ((n + 1) \times rO) \dots\dots\dots (2.102)$$

Keterangan:

LM = panjang pipa manifold (m)

LL = panjang pipa lateral (m)

DM = Diameter pipa manifold (m)

DL = Diameter pipa lateral (m)

DO = diameter lubang orifice (m)

rL = jarak antar pipa lateral (m)

rO = jarak antar lubang orifice (m)

II.2.4 Pengolahan Ketiga (Tertiary Treatment)

Menurut (Sugiharto, 1987), pada proses pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya. Unit pengolahan tersier ini terdiri dari:

a. Clarifier (Bak Pengendap II)

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. 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.

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). Secondary clarifier merupakan bagian tak terpisahkan dari sistem activated sludge. Bagian ini berperan dalam proses pemisahan lumpur dari limbah yang telah diolah di dalam reaktor biologi. Ada lima parameter yang paling berpengaruh terhadap secondary clarifier, yaitu: Konsentrasi MLSS yang masuk ke clarifier, debit

air limbah, debit resirkulasi sistem activated sludge, luas permukaan clarifier, dan kemampuan mengendapkan lumpur.



Gambar 2.13 Clarifier

(Sumber: <https://www.indiamart.com/proddetail/clarifier-sewage-system-8435958612.html>)

Adapun rumus yang digunakan pada pengolahan ini adalah:

➤ Rumus untuk zona settling adalah sebagai berikut:

- Debit bak Clarifier (Q)

$$\text{MLSS dibuang} = \frac{P \times \text{MLSS}}{\text{berat jenis lumpur}} \dots\dots\dots (2.103)$$

$$Q_{\text{in Clarifier}} = (Q + Q_r) - \text{MLSS yang dibuang} \dots\dots\dots (2.104)$$

Keterangan:

$Q_{\text{in Clarifier}}$ = debit masuk pada bak (m³/hari)

Q_r = Debit resirkulasi (m³/hari)

Q = Debit limbah (m³/hari)

- Luas Area Surface (AS)

$$AS = \frac{Q}{\text{Over flow rate}} \dots\dots\dots (2.105)$$

Keterangan:

AS = Luas area surface (m²)

Q = Debit limbah (m³/hari)

Over flow rate = Volume aliran per luas area (m³/m².hari)

- Diameter Bak (D)

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \dots\dots\dots (2.106)$$

Keterangan:

D = Diameter bak (m)

$\pi = 3,14$

- Diameter Inlet Wall (D')
- $$D' = (15\% - 20\%) \times D \dots\dots\dots (2.107)$$

Keterangan:

D = Dimensi bak (m)

D' = Diameter inlet wall (m)

- Volume bak Clarifier
- $$V = Q \times t_d \dots\dots\dots (2.108)$$

Keterangan:

V = Volume bak clarifier (m³)

Q = Debit air limbah (m³/hari)

t_d = Waktu detensi (detik)

- Kedalaman Zona Settling (H Settling)
- $$H_{\text{settling}} = \frac{V}{A} \dots\dots\dots (2.109)$$

Keterangan:

H_{settling} = Kedalaman zona settling (m)

V = Volume bak clarifier (m³)

A = Luas area surface (m²)

$$H_{\text{total}} = H_{\text{settling}} + f_b \dots\dots\dots (2.110)$$

Keterangan:

H_{total} = Kedalaman total bak clarifier (m)

H_{settling} = Kedalaman zona settling (m)

f_b = Freeboard (5-30% x H)

- Kecepatan pengendapan (V_s)
- $$V_s = \frac{H_{\text{tot}}}{t_d} \dots\dots\dots (2.111)$$

Keterangan:

V_s = Kecepatan pengendapan partikel (m/s)

H_{tot} = Kedalaman zona settling (m)

t_d = Waktu detensi (detik)

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, page 368)

- Diameter partikel (D_p)

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \times 18 \times v}{g (sg-1)}} \dots\dots\dots (2.112)$$

Keterangan:

D_p = Diameter partikel (m)

v_s = Kecepatan pengendapan (m/s)

v = Viskositas kinematis ($0,8 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

sg = Spesifik gravity

- Cek bilangan reynold

$$N_{Re} = \frac{\rho_s \times D_p \times v_s}{\mu} \dots\dots\dots (2.113)$$

Keterangan:

N_{Re} = Bilangan reynold

D_p = Diameter partikel (m)

V_s = Kecepatan pengendapan (m/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

s = Massa jenis partikel (kg/m³)

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

- Kecepatan horizontal (V_h)

$$V_h = \frac{Q_{in}}{\pi \times D \times H} \dots\dots\dots (2.114)$$

Keterangan:

V_h = Kecepatan horizontal (m/s)

Q_{in} = Debit air limbah (m³/s)

D = Diameter bak clarifier (m)

H = Kedalaman bak (m)

- Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{r \times H}{r + (2 \times H)} \dots\dots\dots (2.115)$$

Keterangan:

R = Jari-jari hidrolis (m)

r = Jari-jari bak clarifier (m)

H = Kedalaman bak clarifier (m)

- Cek bilangan reynold

$$N_{Re} = \frac{v_h \times R}{\mu} \dots\dots\dots (2.116)$$

Keterangan:

Vh = Kecepatan horizontal (m/s)

R = Jari-jari hidrolis (m)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

- Cek bilangan froude

$$N_{fr} = \frac{v_h}{\sqrt{g \times h}} \dots\dots\dots (2.117)$$

Keterangan:

NFR = Bilangan froude

vh = Kecepatan horizontal (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

h = Kedalaman bak (m)

- Cek penggerusan / Kecepatan scouring (Vsc)

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{8 k (Sg-1) \times g \times Dp}{\lambda}} \dots\dots\dots (2.118)$$

Keterangan:

λ = Faktor gesekan hidrolis

k = Konstanta kohesi partikel yang saling mengikat (0,06)

Dp = Diameter partikel (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Sg = Spesifik gravity

➤ Rumus untuk zona thickening adalah sebagai berikut:

- MLVSS dalam clarifier

$$MLVSSAS = 30\% \times MLVSS_{total} \dots\dots\dots (2.119)$$

$$MLVSS_{clarifier} = MLVSS_{total} - MLVSSAS \dots\dots\dots (2.120)$$

Keterangan:

MLVSSAS = MLVSS dari bioreaktor AS (mg/L)

MLVSStotal = MLVSS total dari bioreaktor AS (mg/L)

MLVSSclarifier = MLVSS di dalam clarifier (mg/L)

- Massa solid total clarifier

$$M_{\text{solid total}} = \text{MLVSS}_{\text{clarifier}} \times V_{\text{clarifier}} \dots\dots\dots (2.121)$$

Keterangan:

$M_{\text{solid total}}$ = Massa solid total dalam clarifier (kg)

$\text{MLVSS}_{\text{clarifier}}$ = MLVSS di dalam clarifier (mg/L)

$V_{\text{clarifier}}$ = Volume clarifier (m³)

- Kedalaman zona thickening

$$H = \frac{m_{\text{solid total}}}{X \times A} \dots\dots\dots (2.122)$$

Keterangan:

$M_{\text{solid total}}$ = massa solid total dalam clarifier (kg)

X = MLSS dari bioreaktor AS (mg/L)

A = Luas penampang clarifier (m²)

➤ Rumus untuk zona sludge adalah sebagai berikut:

- Total lumpur yang terkumpul

$$T_L = P_x \times t \dots\dots\dots (2.123)$$

Keterangan:

T_L = Total lumpur yang terkumpul (kg)

P_x = Lumpur yang dihasilkan dari bioreaktor AS (kg/hari)

T = Waktu pengurasan (hari)

- Total massa lumpur pada bak clarifier

$$T_{ML} = T_L + m_{\text{solid total}} \dots\dots\dots (2.124)$$

Keterangan:

T_{ML} = Total massa lumpur pada clarifier (kg)

T_L = Total lumpur yang terkumpul (kg)

$M_{\text{solid total}}$ = Massa solid total dalam clarifier (kg)

- Volume lumpur pada clarifier

$$V_L = \frac{T_{ML}}{P_s} \dots\dots\dots (2.125)$$

Keterangan:

VL = Volume lumpur pada clarifier (m³)

TML = Total massa lumpur pada clarifier (kg)

Ps = Massa jenis solid (kg/m³)

- Debit lumpur

$$Q_L = \frac{V_L}{\text{Waktu pengurasan}} \dots\dots\dots (2.126)$$

Keterangan:

VL = Volume lumpur pada bak per hari (m³/hari)

td = Lama waktu pengurasan (jam)

- Kedalaman ruang sludge

$$V_{\text{ruang lumpur}} = \frac{1}{3} H ((A+B) + \sqrt{AxB}) \dots\dots\dots (2.127)$$

Keterangan:

V = Volume ruang lumpur (m³)

H = Kedalaman ruang sludge (m)

A = Luas permukaan atas (m²)

B = Luas permukaan bawah (m²)

- Kedalaman total clarifier

$$H_{\text{tot}} = H_{\text{settling}} + H_{\text{thickening}} + H_{\text{sludge}} \dots\dots\dots (2.128)$$

Keterangan:

H_{tot} = Kedalaman total bioreaktor AS (m)

H_{settling} = Kedalaman zona settling (m)

H_{thickening} = Kedalaman zona thickening (m)

H_{sludge} = Kedalaman zona sludge (m)

- Rumus untuk zona outlet adalah sebagai berikut:

- Panjang pelimpah

$$L = \pi \times D \text{ bak} \dots\dots\dots (2.129)$$

Keterangan:

L = Panjang pelimpah (m)

D = Diameter bak clarifier (m)

- Jumlah V notch setiap pelimpah (Weir)

$$n = \frac{\text{panjang pelimpah weir}}{\text{jarak antar V notch}} \dots\dots\dots (2.130)$$

Keterangan:

n = Jumlah V notch

Lweir = Panjang pelimpah (m)

Rweir = Jarak antar weir (m)

(Sumber: Syed R. Qasim, *Wastewater Treatment and Reuse, Vol 1, Guang Zhu, page: 9-21 9-26, 459-460*)

- Debit air melalui V notch

$$Q_{vnotch} = \frac{Q_{in}}{n} \dots\dots\dots (2.131)$$

Keterangan:

Q_{vnotch} = Debit air melalui Vnotch (m³/s)

Q_{in} = Debit air limbah (m³/s)

n = Jumlah Vnotch

- Tinggi limpahan Vnotch

$$N_{re} = \frac{\rho \times D \times v_s}{\mu} \dots\dots\dots (2.132)$$

Keterangan:

N_{re} = Bilangan reynold

D = Diameter bak (m)

v_s = Kecepatan pengendapan (m/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

- Luas permukaan saluran limpahan

$$A = \frac{Q_{in}}{v} \dots\dots\dots (2.133)$$

Keterangan:

A = Luas permukaan saluran pelimpah (m²)

Q_{in} = Debit yang masuk (m³/s)

v = Kecepatan saluran pelimpah (m/s)

- Dimensi saluran pelimpah

$$A = B \times H \dots\dots\dots (2.134)$$

$$H = H + (H \times \text{freeboard}) \dots\dots\dots (2.135)$$

Keterangan:

A = Luas permukaan saluran pelimpah (m²)

B = Lebar saluran pelimpah (m)

H = Tinggi pelimpah melalui Vnotch (m)

Freeboard = (15-20%) kedalaman

II.2.5 Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Dari pengolahan air limbah maka didapatkan hasil 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).

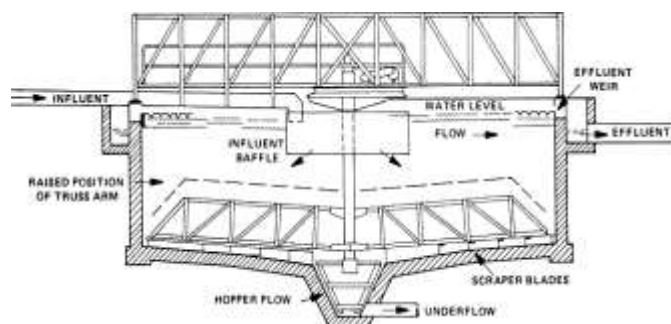
Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

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

Terdapat berbagai macam jenis pengolahan lumpur yang digunakan dalam industri-industri saat ini. Banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih pengolahan lumpur yang sesuai dengan kuantitas lumpur yang dibuang, salah satu pertimbangan yang paling penting yaitu efektifitas pengolahan lumpur dan waktu yang tidak terlalu lama dalam proses pengolahan lumpur.

a. Sludge Thickener

Sludge thickener adalah suatu bak yang berfungsi untuk menaikkan kandungan solid dari lumpur dengan cara mengurangi porsi fraksi cair (air), sehingga lumpur dapat dipisahkan dari air dan ketebalannya menjadi berkurang atau dapat dikatakan sebagai pemekatan lumpur. Tipe thickener yang digunakan adalah gravity thickener dan lumpur berasal dari bak pengendap I dan pengendap II. Pada sistem gravity thickener ini, lumpur diendapkan di dasar bak sludge thickener.

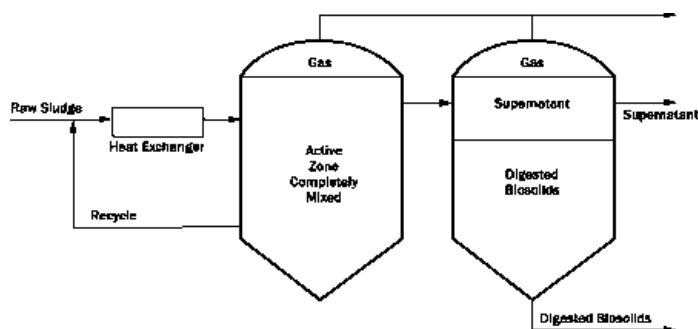


Gambar 2.14 Sludge Thickener

(Sumber: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/sludge-thickening>)

b. Sludge Digester

Sludge digester berfungsi untuk menstabilkan sludge yang dihasilkan dari proses lumpur aktif dengan mengkomposisi organik material yang bersifat lebih stabil berupa anorganik material sehingga lebih aman untuk dibuang.



Gambar 2.15 Sludge Digester

(Sumber: <https://www.climate-policy-watcher.org/wastewater-sludge/twostage-digestion.html>)

c. Sludge Drying Bed

Salah satu metode paling sederhana adalah drying bed atau bak pengering lumpur. 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. Deskripsi bak pengering berupa bak dangkal berisi media penyaring pasir dan batu kerikil sebagai penyangga pasir, serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar bak pengering dibuat saluran atau pipa pembuangan air (drain). Media penyaring merupakan bahan yang memiliki pori besar untuk ditembus air.

Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengeringan alami dengan matahari, maka air akan keluar melalui saringan dan penguapan. Pada mulanya keluarnya air melalui saringan berjalan lancar dan kecepatan pengurangan air tinggi, tetapi jika bahan penyaring (pasir) tersumbat maka proses pengurangan air hanya tergantung kecepatan penguapan. Kecepatan pengurangan air pada bak pengering lumpur seperti ini bergantung pada penguapan dan penyaringan, dan akan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, sinar matahari, hujan, ketebalan lapisan lumpur, kadar air, sifat lumpur yang masuk dan struktur kolam pengeringan.



Gambar 2.16 Sludge Drying Bed

(Sumber: <https://www.shutterstock.com/search/sludge+drying+bed>)

Adapun kelebihan dari sistem ini adalah rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan, tidak diperlukannya terlalu banyak waktu

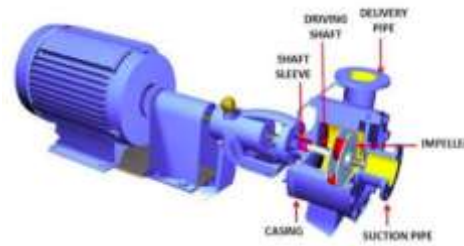
untuk proses pengamatan dan pengontrolan, dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses pengeringan. Selain berbagai kelebihan yang dapat diperoleh dengan penggunaan sludge drying bed seperti yang telah disebutkan di atas, sludge drying bed juga memiliki beberapa kelemahan, di antaranya adalah proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya, dibutuhkan lahan yang lebih luas, kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan sludge atau lumpur.

II.2.6 Aksesoris Perancangan Bangunan

a. Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari satu tempat ke tempat yang lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan digunakan untuk mengatasi hambatan pengaliran yang berupa perbedaan tekanan, ketinggian, atau hambatan gesek. Pada prinsipnya pompa dapat mengubah energi mekanik menjadi energi aliran fluida, energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui. Pompa memiliki dua kegunaan, yaitu untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ketempat lainnya dan untuk mensirkulasikan cairan sekitar sistim. Pompa sendiri memiliki bermacam-macam jenis, yaitu:

- **Sentrifugal Pump**, merupakan pompa dengan susunan atas sebuah impeller dan saluran inlet di tengah-tengahnya. Ketika impeller berputar, fluida akan mengalir menuju casing di sekitar impeller sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Penggunaan pompa sentrifugal di dunia mencapai angka 80% karena penggunaannya yang cocok untuk mengatasi jumlah fluida yang besar daripada pompa positive-displacement.



Gambar 2.17 Pompa Sentrifugal

(Sumber: <http://majalah1000guru.net/2019/02/pompa-sentrifugal-kerja-manfaat/>)

- **Rotary Pump**, adalah pompa yang menggerakkan fluida dengan menggunakan prinsip rotasi. Vakum terbentuk oleh rotasi dari pompa dan selanjutnya menghisap fluida masuk. Keuntungan dari pompa ini adalah efisiensi yang tinggi karena secara natural dapat mengeluarkan udara dari pipa alirannya, serta dapat mengurangi kebutuhan pengguna untuk mengeluarkan udara tersebut secara manual. Dan untuk kelemahan dari pompa ini adalah apabila pompa bekerja pada kecepatan yang terlalu tinggi, maka fluida kerjanya justru dapat menyebabkan erosi pada sudu-sudu pompa.

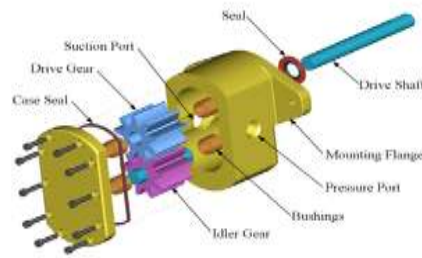


Gambar 2.18 Pompa Rontary

(Sumber: <https://www.iwakupumps.jp/en/products/rotary/>)

- **Gear Pump**, merupakan jenis pompa roda gigi positif yang dapat memindahkan cairan dengan berulang kali menutup volume tetap menggunakan roda gigi yang saling mengunci, dan mentransfernya secara mekanis menggunakan pemompaan siklik yang memberikan aliran pulsa-halus mulus

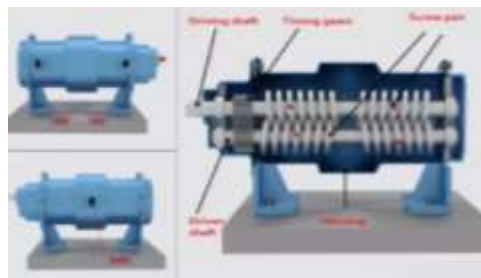
sebanding dengan kecepatan rotasi gir-nya.



Gambar 2.19 Pompa Gear

(Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Gear_pump)

- **Screw Pump**, merupakan pompa yang di gunakan untuk menangani cairan yang mempunyai viskositas tinggi, heterogen, sensitive terhadap geseran dan cairan yang mudah berbusa. Perisin kerja Screw di temukan oleh seorang engineer prancis bernama Rene Moneau, sehinga sering di sebut juga dengan Moneau pump.



Gambar 2.20 Pompa Screw

(Sumber: <https://aadityacademy.com/screw-pump/>)

b. Blower

Blower merupakan mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan dan sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu. Blower juga merupakan mesin yang memampatkan udara atau gas oleh gaya sentrifugal ketekanan akhir melebihi dari 40 psig. Menurut klasifikasinya blower dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

- **Blower Sentrifugal**, merupakan blower dengan memiliki impeller yang dapat berputar hingga 15.000 rpm. Blower sentrifugal dapat beroperasi melawan tekanan 0,35 sampai 0,70 kg/cm² .



Gambar 2.21 Blower Sentrifugal

(Sumber: <https://semestapikiranku.wordpress.com/2020/04/16/blower-sentrifugal-alat-industri/>)

- **Blower Positive Displacement**, merupakan blower yang memiliki rotor yang menjebak udara dan mendorongnya melalui rumah blower. Blower ini menyediakan volume udara yang konstan bahkan jika tekanan system nya bervariasi. Blower ini berputar lebih pelan daripada blower sentrifugal hanya 3.600 rpm. Dan sering digerakkan oleh belt untuk memfasilitasi perubahan kecepatan.



Gambar 2.22 Blower Positive Displacement

(Sumber: <https://www.industry-plaza.com/positive-displacement-blower-series-gm-p233494.html>)

c. Aksesoris Pipa

Dalam membangun sebuah sistem jaringan saluran air yang ideal maka dibutuhkan dukungan aksesoris pipa yang tepat. Fungsi dari aksesoris pipa adalah untuk membangun jalur belokan, membangun jalur

percabangan, mendukung metode penyambungan, dan menyambung antar pipa. Adapun aksesoris yang dimiliki pipa terdiri dari:

- **Shock pipa/Socket**, merupakan aksesoris untuk menyambung pipa yang bertujuan untuk memperpanjang pipa dengan menyambung lurus satu pipa dengan pipa lainnya. Aksesoris ini biasa digunakan untuk menyambung pipa dengan diameter yang sama, dengan ulir yang berada di dalam. Shock pipa terbagi menjadi beberapa jenis seperti:
 - Shock pipa PVC polos, yang digunakan untuk menyambung dua pipa PVC dengan ujungnya tidak ada ulir atau drat.
 - Shock pipa drat luar, pada kedua ujung shock nya memiliki ulir/drat. Shock pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan shock pipa drat dalam.
 - Shock pipa drat dalam, pada kedua ujung shock nya memiliki ulir/drat. Shock pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan shock pipa drat luar ataupun konektor penyambung selang.



Gambar 2.23 (a) shock pipa polos (b) Shock pipa drat luar
(c) shock pipa drat dalam

(Sumber:

<https://mengalirjauh.blogspot.com/2019/04/mengenal-jenis-jenis-aksesoris-pipa-pvc.html>)

- **Elbow**, merupakan aksesoris perpipaan yang memiliki bentuk mirip dengan huruf “L” atau berbentuk siku (Elbow). Aksesoris ini berfungsi untuk membelokkan aliran. Aksesoris ini memiliki kombinasi sudut bervariasi, yang paling sering dipakai adalah 90° dan 45°.



Gambar 2.24 Elbow 90° dan 45°

(Sumber: <https://www.bhinneka.com/rucika-fitting-jis-elbow-90d-dl-class-d-5-inch-sku3326821514>)

- **Tee**, merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk membagi aliran lurus menjadi dua arah, ke kanan dan kiri. Seperti namanya aksesoris tee berbentuk seperti huruf “T”, namun ada beberapa kasus Tee berbentuk seperti huruf “Y”, banyak orang menyebutnya Y-Branch.



Gambar 2.25 Tee bentuk T dan Y (Y-Branch)

(Sumber: <https://www.bhinneka.com/rucika-y-branch-aw-4-inch-sku3326985056>)

- **Reducer**, merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk menyambung dua pipa dengan diameter berbeda. Reducer ini terbagi menjadi dua tipe, yakni reducer elbow untuk membelokkan aliran dan reducer socket untuk memperpanjang pipa dengan sambungan lurus.



Gambar 2.26 Reducer

(Sumber: <https://www.bhinneka.com/pralon-plok-sock-reducer-fitting-pvc-34-x-12-inch-sku0013780888>)

- **Dop/plug/cap/clean out**, merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk menutup saluran pipa pada ujung pipa yang tidak dihubungkan lagi. Cap adalah penutup yang lebih simpel dari yang lain, Plug adalah penutup yang sangat rapat dengan sistem ulir/drat, clean out adalah penutup yang dapat ditutup dan dibuka sesuka hati. Namun kebanyakan kontraktor memilih untuk menutup ujung pipa dengan kran, agar sewaktu-waktu ujung pipa dapat digunakan dan bermanfaat.



Gambar 2.27 Clean Out

(Sumber: <https://www.bhinneka.com/rucika-standard-clean-out-d-4-inch-sku3326816567>)

II.3 Persen Removal

Tabel 2.5 Persen Removal Unit Pengolahan Limbah

No	Unit Bangunan	% Removal	Sumber Literatur
	Pre Treatment	-	-
1.	Saluran Pembawa & Bar Screen	-	-
2.	Bak Penampung	-	-
	Primary Treatment		
3.	DAF		
	Ko-flok	-	-
	Flotasi	Minyak-Lemak : 65-98%	Syed R. Qasim. 1999. WWTP Planning, Design, and Operation, page 159
		Sulfida (H ₂ S) : 88-98%	W. Wesley Eckenfelder, Jr. Industrial Water Pollution Control (Third Edition). 2000, page 109
	Skimmer	TSS : 50-85%	Cavaseno, Industrial Waste water and solid Waste engineering, page 14
4.	Bak equalisasi	-	-
	Secondary Treatment		
5.	Activated Sludge	COD : 50-95% BOD : 80-99%	Cavaseno, Industrial Waste water and solid Waste engineering, page 15
6.	Clarifier (Bak Pengendap II)	TSS : 60-80%	Metcalf & Eddy, WWET Disposal, and Reuse 4th edition, page 497
		MLSS : 97%	Reynold 2rd edition, page 246
7.	Filter Press	-	-

II.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis merupakan 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.

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
- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
- c. Kehilangan tekanan pada pompa
- d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

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
- d. Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa untuk menaikkan air