

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Industri Tahu

Limbah industri tahu merupakan limbah yang dihasilkan dari proses produksi tahu. Menurut Purwaningsih (2007). Tahu diproduksi dengan melakukan serangkaian proses produksi dimulai dari proses pemilihan bahan mentah, pada proses ini kedelai dipilah antara yang layak diolah dengan yang tidak layak/busuk. Selanjutnya dilakukan proses pencucian dimana dilakukan pencucian biji kedelai dengan air bersih hingga kotoran pada biji kedelai hilang. Setelah dicuci kedelai direndam dalam air bersih selama 8-12 jam untuk melunakkan struktur seluler kedelai sehingga dapat mempermudah proses penggilingan dan pengupasan kuit kedelai. Kedelai kemudian dikupas dan dilakukan penggilingan dengan penambahan air antara 8-10 kali berat kedelai dengan suhu 80-100°C. Bubur kedelai kemudian dimasak dengan tujuan untuk mengurangi bau langu, me-nonaktifkan tripsin inhibitor (antitrisin), meningkatkan daya cerna, mempermudah ekstraksi, penggumpalan protein, serta menambah keawetan produk. Kemudian dilakukan penggumpalan tahu dengan menambahkan batu tahu atau biang. Gumpalan (curd) tahu yang terbentuk kemudian dicetak dan dipotong sesuai ukuran. Sebelum dipasarkan, tahu dieramkan selama semalaman kemudian direbus kembali. Pada proses produksi tersebut dihasilkan limbah cair melalui proses pencucian kedelai perendaman kedelai, penyaringan, penggumpalan, dan pencetakan/pengerasan.

2.2. Karakteristik Limbah Industri Tahu

Proses pengolahan dari suatu produksi sejatinya akan menghasilkan limbah dengan karakteristik berbeda-beda bergantung pada proses produksinya. Menurut Metcalf & Eddy (2007) air limbah merupakan kombinasi dari cairan dan sampah-sampah buangan yang dihasilkan dari proses produksi suatu industri, domestik (rumah tangga), perdagangan, air tanah, air permukaan dan air buangan lainnya yang berdampak pada lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

2.2.1. BOD₅

BOD₅ merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD₅ adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28° C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD₅ (Sugiharto, 1987 hal 6). Kandungan BOD₅ dalam air buangan yang masuk dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu 2445.39 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD₅ yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 150 mg/l. (Perda DIY No 7 tahun 2016).

2.2.2. COD

COD merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimia atau oksidator kimia yang kuat (potassium dikromat). (Syed R. Qasim, 1985, "Wastewater Treatment plant", CBS College Publishing, hal 39). Kandungan COD dalam air buangan yang masuk dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu adalah 5451.63 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 200 mg/l (Perda DIY No 7 tahun 2016).

2.2.3. TSS

Total Suspended Solid (TSS) merupakan sebagian dari Total Solids yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan, pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter Whatman fiberglass yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58µm. (Metcalf Eddy, 2003)

Total Suspended Solid (TSS) pada air buangan kawasan industri Tahu adalah 340 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar padatan yang tersuspensi (TSS) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 200 mg/L (Perda DIY No 7 tahun 2016).

2.2.4. TDS

Total dissolved solids (TDS) merupakan parameter yang mengukur jumlah bahan padat dalam bentuk ion, molekular, atau mikrogranular yang terlarut dalam air. Zat-zat ini berukuran sangat kecil, biasanya di bawah 1 nanometer, sehingga tidak dapat disaring dengan kertas saring biasa (Kustiyaningsih, E., & Irawanto, R., 2020). TDS sering diukur dalam satuan bagian per juta (ppm). TDS dalam air dapat diukur menggunakan meter digital. Secara umum, definisi operasionalnya adalah bahwa padatan tersebut harus cukup kecil untuk dapat melewati filter dengan pori-pori berukuran 2 mikrometer (ukuran nominal, atau lebih kecil). Total padatan terlarut biasanya hanya dibahas untuk sistem air tawar, karena salinitas mencakup beberapa ion yang termasuk dalam definisi TDS. Aplikasi utama TDS adalah dalam studi kualitas air untuk sungai, danau, dan air tanah. Kandungan TDS yang terdapat pada limbah industri tahu 1242 mg/l, sedangkan baku mutu TDS pada industri tahu adalah 2000 mg/l (Perda DIY No 7 tahun 2016).

2.2.5. Nitrat (NO_3)

Nitrat adalah senyawa kimia yang merupakan bentuk utama nitrogen (NO_3) di perairan alami dan berperan sebagai zat hara penting bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil, dihasilkan melalui proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan, khususnya melalui nitrifikasi, yaitu oksidasi amonia menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat dengan bantuan mikroorganisme dalam kondisi aerob (Arnanda, 2023).

Secara ekologis, nitrat merupakan nutrisi utama yang mendukung sintesis protein pada hewan dan tumbuhan, sehingga berperan penting dalam siklus nitrogen di lingkungan perairan. Namun, kadar nitrat yang tinggi dapat berdampak negatif, seperti menurunkan kadar oksigen terlarut di air dan meningkatkan potensi munculnya fitoplankton berbahaya (Harmful Algae Blooms/HABs) yang dapat mengganggu ekosistem perairan (Arnanda, 2023). Kandungan nitrat pada limbah tahu sebesar 64.24 mg/l, sedangkan baku mutu limbah tahu untuk nitrat sebesar 20 mg/l (Perda DIY No 7 tahun 2016).

2.2.6. Fosfat (PO_4)

Fosfat adalah senyawa kimia yang terdapat dalam bentuk ion fosfat (PO_4^{3-}) dan merupakan nutrisi esensial yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dalam konteks lingkungan dan ekosistem perairan, fosfat berperan sebagai parameter kimia yang sering digunakan untuk mengindikasikan tingkat kesuburan maupun pencemaran perairan (Sari et al., 2022).

Secara kimiawi, fosfat dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, termasuk ortofosfat, polifosfat, dan fosfat organik, yang masing-masing dapat berada dalam bentuk terlarut, tersuspensi, atau terikat dalam sel organisme air. Fosfat anorganik (ion fosfat) yang terlarut merupakan bentuk yang langsung dapat diserap oleh fitoplankton dan mikroalga, sehingga berperan sebagai nutrisi pembatas (limiting nutrient) dalam ekosistem perairan. Namun, kelebihan fosfat dalam air dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu peningkatan pertumbuhan ganggang dan tanaman air secara berlebihan yang dapat mengurangi kadar oksigen terlarut dan membahayakan kehidupan akuatik (Sari et al., 2022).

2.2.7. pH

Konsentrasi ion hidrogen atau yang biasa disebut derajat keasaman (pH) merupakan parameter yang penting baik untuk air maupun air limbah. pH memiliki definisi logaritma negatif pada konsentrasi ion hidrogen. $\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$ 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, 2003). Kandungan pH total air buangan dari industri tahu adalah 3,3, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 6-9 (Perda DIY No 7 tahun 2016).

2.3. Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan mempunyai kelompok tingkat pengolahan, pengolahan air buangan dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Pengolahan Fisik Bertujuan untuk menghilangkan partikel diskrit yang dapat mengendap dengan sendirinya dan zat yang terapung.

2. Pengolahan Kimiawi Bertujuan untuk menghilangkan partikel koloid baik yang berupa organik maupun anorganik serta partikel tersuspensi.
3. Pengolahan Biologis Bertujuan untuk menstabilkan air buangan dengan memanfaatkan mikroorganisme. Pengolahan ini dapat dibedakan menjadi 3 bagian antara lain, pengolahan aerobik, pengolahan anaerobik dan pengolahan fakultatif.

Pada proses pengolahan bertujuan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Unit proses pengolahannya meliputi antara lain:

2.3.1. Bak Penampung

Bak penampung adalah struktur yang dirancang untuk menyimpan dan menyamakan variasi aliran pada setiap jam, serta beberapa parameter lainnya agar dapat mencapai karakteristik dan aliran air limbah yang stabil dan sesuai untuk berbagai situasi berdasarkan unit pengolahan yang akan digunakan selanjutnya. Durasi detensi maksimum dalam bak penampung adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya endapan dan pembusukan air limbah. Tinggi air pada saat kondisi puncak harus tetap di bawah aliran masuk agar tidak terjadi aliran balik. Setelah meninggalkan bak penampung, aliran air buangan yang bervariasi setiap jam akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Ada beberapa manfaat utama dari penggunaan bak penampung, antara lain: (1) pengolahan biologi dapat dioptimalkan karena laju beban kejutan dapat diminimalkan, dan zat yang menghalangi bisa diencerkan; (2) kualitas efluen serta performa tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis dapat ditingkatkan dengan meningkatkan konsistensi dalam beban padatan; (3) kebutuhan luas permukaan pada unit filtrasi bisa dikurangi, kinerja filter akan meningkat, dan siklus backwash yang lebih konsisten dapat dilakukan dengan muatan hidrolis yang lebih rendah (efisiensi penggunaan); (4) dalam pengolahan kimia, penggunaan bahan kimia dapat dikurangi karena ketidakstabilan parameter yang berubah setiap jam. Namun, unit bak penampung juga memiliki beberapa kelemahan, seperti: (1) memerlukan area atau lokasi yang cukup besar; (2) bisa

menyebabkan bau karena waktu detensi limbah awal; (3) membutuhkan operasi dan biaya tambahan yang meningkatkan total biaya (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung, antara lain (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

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

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

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
Kedalaman air minimal	h_{min}	1,5 - 2	m	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Ambang batas (<i>free board</i>)	h_{fb}	5 - 30	%	
Laju pemompaan udara (aerasi)	Q_{udara}	0,01 - 0,015	m^3/m^3 - menit	
Kemiringan dasar tangki	Slope	40 - 100	mm/m diameter	(Qasim & Zhu, 2017)
Waktu Tinggal	Td	1 - 2	Jam	(Metcalf & Eddy et al., 2007)

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018, Halaman 32)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak penampung adalah sebagai berikut :

1. Waktu Tinggal (Td)

$$T_d = V \times Q$$

Keterangan :

V = Volume bak pengumpul (m^3)

Q = Debit air yang di pompa ($m^3/detik$)

2. Kecepatan Aliran (v)

$$V = A \times H$$

Keterangan :

A = Luas permukaan bak pengumpul (m^2)

H = kedalaman air (m)

3. Dimensi Bak Penampung

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

Keterangan :

V = Volume bak (m^3)

P = Panjang bak (m), dengan $2 \times L$

L = Lebar bak (m)

H = Ketinggian bak pengumpul (m)

4. Kedalaman total (Htotal)

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

Keterangan :

Fb = Freeboard

5. Jari-jari hidrolis

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

Keterangan :

W = Lebar bak (m)

H = Tinggi bak (m)

6. Pipa inlet pompa

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

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

Keterangan :

A = Luas bak

Q = Debit air

d = Diameter pipa

V = Volume bak

7. Pipa outlet pompa

- Luas penampang pipa pompa

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

- Kecepatan aliran dalam pipa pompa outlet

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

Keterangan :

A = Luas bak

Q = Debit air

d = Diameter pipa

V = Volume bak

8. Head Loss Mayor (Hf Mayor)

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

9. Headloss Minor (Hf Minor)

$$H_f \text{ minor} = k_1 \times \frac{v^2}{2g} + (n \times k_2 \times \frac{v^2}{2g})$$

10. Headloss total

$$\text{Headloss total} = H_a + H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$$

Adapun untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurangi adanya shock loading rate. Adapun karakteristik pompa yang digunakan diantaranya :

Tabel 2.2 Karakteristik pompa bangunan pengolahan air

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
--------------------------	-------------------	-----------------------

Kinetik	Centrifugal	<ul style="list-style-type: none"> - Air limbah sebelum diolah - Penggunaan lumpur kedua - Pembuangan effluent
	Peripheral	Limbah logam, pasir, dan air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan air buangan
<i>Posite Displacement</i>	Screw	<ul style="list-style-type: none"> - Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua - Air limbah pertama - Lumpur Kasar
	Diafragma Penghisap	<ul style="list-style-type: none"> - Permasalahan zat kimia limbah logam - Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	Air Lift	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua
	Pneumatic Ejector	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

(Sumber: Qasim, Syed R. Zhu Guang, *Wastewater Treatment Objective, Design Consideration, and Treatment Processes*, Halaman 6-43)

2.3.2. Netralisasi

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda diantara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas buffer yang terjadi karena ada produk CO₂ dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam. Larutan dikatakan asam bila : $H^+ > H^-$ dan $pH < 7$ Larutan dikatakan netral bila : $H^+ = H^-$ dan $pH = 7$ Larutan dikatakan basa bila : $H^+ < H^-$ dan $pH > 7$.

Jenis netralisasi ini tergantung dari macam-macam bahan basa yang digunakan Magnesium adalah bahan basa yang sangat reaktif dalam asam kuat dan digunakan pada pH di bawah 4,2. Netralisasi dengan menggunakan bahan basa dapat didefinisikan berdasarkan faktor titrasi dalam 1 gram sampel dengan HCl yang dididihkan selama 15 menit kemudian dititrasi lagi dengan 0,5 N NaOH dengan menggunakan phenolphthalen sebagai buffer. Mencampurkan bahan-bahan basa dapat dilakukan dengan pemanasan maupun pengadukan secara fisik. Untuk bahan yang sangat reaktif, reaksi terjadi secara lengkap selama 10 menit. 29 Bahan-bahan basa lainnya yang dapat digunakan sebagai netralisasi adalah NaOH, Na₂CO₃ atau NH₄OH.

Banyak bahan asam kuat yang efektif digunakan untuk menetralkan air limbah yang bersifat basa, biasanya yang digunakan adalah sulfuric atau hydrochloric acid. Asap gas yang terdiri dari 14 % CO₂ dapat digunakan untuk netralisasi dengan melewati gelembung-gelembung gas melalui air limbah CO₂ ini terbentuk dari carbonik acid yang dapat bereaksi dengan basa. Reaksi ini lambat tapi cukup untuk mendapatkan pH antara 7 hingga 8. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan spray tower.

Berikut merupakan rumus perhitungan yang digunakan dalam merancang bak netralisasi :

1. Bak Pembubuh

- a. Dosis NaOH

$$[\text{OH}^-] = \frac{\text{massa (g)}}{\text{vol air (L)}} \times \frac{1}{\text{BM } (\frac{\text{gr}}{\text{mol}})}$$

- b. Kebutuhan NaOH

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

- c. Volume NaOH

$$\text{Volume NaOH} = \frac{\text{kebutuhan NaOH}}{\text{massa jenis NaOH}} \times \text{Periode pelarutan}$$

- d. Kebutuhan air pelarut

$$\text{Volume air pelarut} = \frac{98\%}{20\%} \times \text{Volume NaOH}$$

- e. Volume Total

Volume total = (Volume NaOH+Volume air pelarut) x periode pelarutan

f. Dimensi tangki

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

Keterangan :

d = Diameter tangki

h = Tinggi tangki

g. Suplai tenaga ke air

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

Keterangan :

G = Gradien kecepatan

μ = Viskositas dinamik

V = Volume tangki

h. Diameter impeller

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

i. Lebar impeller

$$Wi = 1/10 \times Di$$

Keterangan :

Di = diameter impeller

j. Cek bilangan Reynold

$$Nre = \frac{(Di)^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan :

Di = diameter impeller (m)

μ = viskositas dinamik (N.s/m²)

n = kecepatan putaran paddle (rps)

2. Bak Netralisasi

a. Volume tangki netralisasi

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

$$V \text{ total} = V \text{ air} + V \text{ pembubuh}$$

- b. Dimensi tangki netralisasi

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

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

- c. Suplai tenaga ke air

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

Keterangan :

G = Gradien kecepatan

μ = Viskositas dinamik

V = Volume tangki

- d. Cek Di

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

Keterangan :

D_i = diameter impeller

D = diameter tangki

- e. Menghitung ukuran baffle pada tangki

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

- f. Cek nilai bilangan Reynold (NRe)

$$N_{re} = \frac{(D_i)^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan :

D_i = diameter impeller

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

- g. Luas penampang pipa

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

Keterangan :

Q = Debit air

V = Volume tangki

- h. Diameter pipa outlet

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

- i. Cek kecepatan pipa outlet

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

Keterangan :

Q = Debit air

A = Luas

2.3.3. Koagulasi

Koagulasi adalah proses destabilisasi partikel koloid dengan cara penambahan senyawa kimia yang disebut koagulan. Destabilisasi merupakan proses dimana partikel-partikel koloid bersatu dengan koagulan dan menjadi besar. Koagulan yang digunakan berfungsi untuk membantu proses flokulasi agar flok dapat terbentuk lebih cepat. Partikel koloid adalah hampir sama dengan padatan tersuspensi hanya saja mempunyai ukuran yang lebih kecil yakni kurang dari 1µm (mikron), dengan kecepatan pengendapan yang sangat rendah sekali. Partikel koloid ini juga yang menyebabkan timbulnya kekeruhan. Dengan demikian partikel-partikel koloid yang pada awalnya sukar dipisahkan dari air, setelah proses koagulasi akan menjadi kumpulan partikel yang lebih besar sehingga mudah dipisahkan dengan cara sedimentasi, filtrasi atau proses pemisahan lainnya yang lebih mudah (Said & Ruliasih, 2005;153).

Tujuan dari koagulasi adalah mengubah partikel padatan dalam air baku yang tidak bisa mengendap menjadi mudah mengendap. Hal ini karena adanya proses pencampuran koagulan kedalam air baku sehingga menyebabkan partikel padatan yang mempunyai padatan ringan dan ukurannya kecil menjadi lebih berat dan ukurannya besar (flok) yang mudah mengendap (Nasution, 2021).

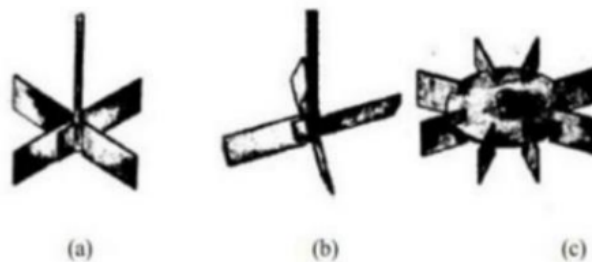
Tabel 2.3 Jenis-Jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium Sulfat	Al ₂ (SO ₄) ₃ .X H ₂ O X = 14,16,18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0-7,8

Sodium aluminate	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	Bubuk	Basa	6,0-7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	$\text{Aln}(\text{OH})_m\text{Cl}_{3-n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0-7,8
Ferric sulfate	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	4-9
Ferri klorida	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Bongkah, cairan	Asam	4-9
Ferro Sulfat	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	>8,5

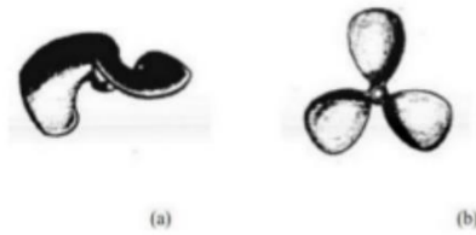
Sumber: (Sugiarto, 2006)

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan *pneumatic*. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling). Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td. Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis impeller yang digunakan dan nilai konstanta K_L dan K_T .



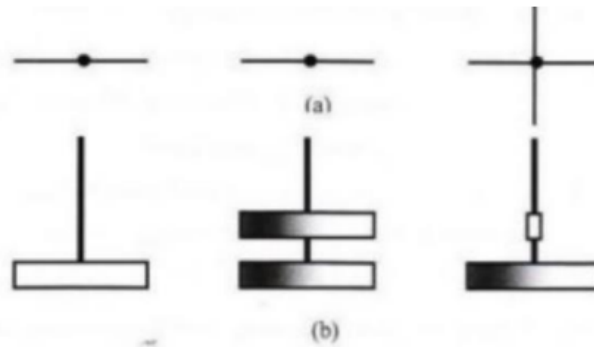
Gambar 2.1 Tipe Turbin: (a) Paddle; (b) Propeller; (c) Turbin

Sumber: (Qasim, 2000)



Gambar 2.2 Tipe Propeller: (a) 2 blade; (b) 3 blade

Sumber: (Qasim, 2000)



Gambar 2.3 Tipe Paddle: (a) Tampak Atas; (b) Tampak Samping

Sumber: (Masduqi & Assomadi, 2012 hal.112)

Tabel 2.4 Kriteria Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi	Keterangan
Paddle	20-150 rpm	Diameter; 50-80% lebar bak Lebar: 1/6-1/10 Diameter paddle	
Turbine	10-150 rpm	Diameter: 30-50% lebar bak	
Propeller	400-1750 rpm	Diameter:	Jumlah pitch

		maks. 45 cm	1-2 buah
--	--	-------------	----------

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:185)

Tabel 2.5 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

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

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:184)

Tabel 2.6 Konstanta KL dan KT untuk Tangki Berserat

Jenis Impeller	KL	KT
Propeller, pitch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12

Flat paddles, 2 blades (single paddles), Di/Wi=4	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=6	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=8	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, Di/Wi=6	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, Di/Wi=8	71,0	3,82

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:188)

Berikut merupakan rumus perhitungan yang digunakan dalam merancang koagulasi:

A. Bak Pembubuh Koagulasi

- Bak Pembubuh
 - Kebutuhan Alum Harian (mg/hari)
= Dosis Alum Optimum × Debit
 - Kadar Kebutuhan Koagulan (kg/hari)
= $\frac{100\%}{\text{Kadar alum dalam larutan}} \times \text{Kebutuhan alum harian}$
 - Volume koagulan (L/hari) = $\frac{\text{Kadar kebutuhan koagulan}}{\text{Massa jenis alum}}$
 - Volume pelarut (L/hari)
= $\frac{100\% - \text{Kadar air dalam larutan}}{\text{Kadar air dalam larutan}} \times \text{Kadar kebutuhan koagulan}$
 - Volume bak total (m³/hari) = Volume koagulan + Volume larutan
 - Daya Pengadukkan = $G^2 \times \mu \times \text{Volume bak total}$

Keterangan:

G = Gradien kecepatan (s)

Π = viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak (m³)

- Impeller
 - Jarak paddle dengan dasar = $0.5 \times \text{Diameter}$
 - Lebar paddle (Wi) = $\frac{1}{8} \times \text{Diameter}$
 - Cek lebar paddle (Cek Wi) = $\frac{\text{Lebar paddle}}{\text{Diameter}}$
 - Cek NRe = $\frac{\rho \times v \times Di^2}{\mu}$

Keterangan :

Di = Diameter paddle (m)

n = kecepatan putaran paddle (rps)

ρ = massa jenis air (995,7 kg/m³ (30°C))

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- Pipa Outlet Bak Koagulasi
 - Q Injek = $\frac{\text{Volume bak total}}{Td}$
 - A Pipa = $\frac{Q \text{ Injek}}{\text{Kecepatan outlet}}$
 - Diameter pipa outlet = $\left(\frac{4 \times A \text{ Pipa}}{\pi}\right)^{0.5}$
 - Cek kecepatan = $\frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$

B. Bak Koagulasi

- Dimensi Bak
 - Volume bak = Debit \times Td
 - Total Volume = Volume bak + Volume bak pembubuh
 - Tinggi Total = H + (20% \times H)
 - Luas Permukaan = $\frac{\text{Total Volume}}{H \text{ tot}}$
 - Diameter bak (D) = $\sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$
 - Volume bak = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2$
 - Daya Pengadukkan = $G^2 \times \mu \times \text{Volume bak total}$

Keterangan:

G = Gradien kecepatan (s)

Π = viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak (m³)

- Impeller
- Jarak paddle dengan dasar = $0.5 \times \text{Diameter}$
- Lebar paddle (Wi) = $\frac{1}{8} \times \text{Diameter}$
- Cek lebar paddle (Cek Wi) = $\frac{\text{Lebar paddle}}{\text{Diameter}}$
- Cek NRe = $\frac{\rho \times v \times Di^2}{\mu}$

Keterangan :

Di = Diameter paddle (m)

n = kecepatan putaran paddle (rps)

ρ = massa jenis air (995,7 kg/m³ (30°C))

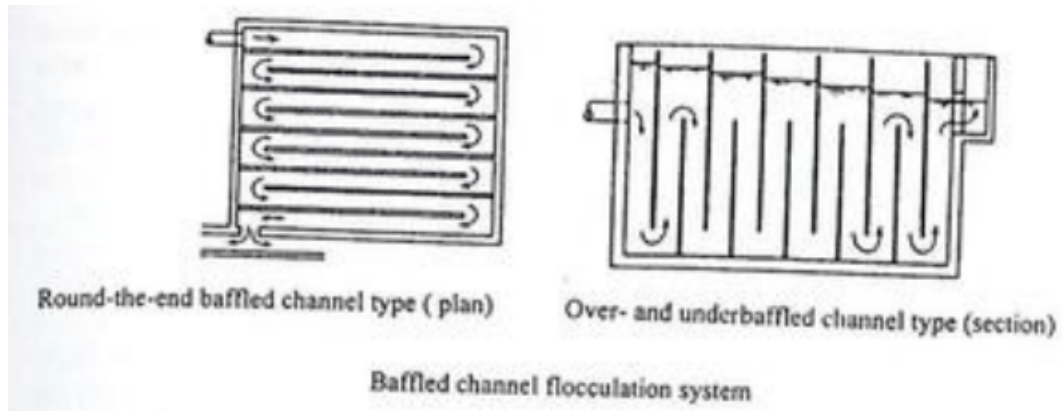
μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- Pipa Outlet Bak Koagulasi
 - A Pipa = $\frac{Q}{\text{Kecepatan outlet}}$
 - Diameter pipa outlet = $\left(\frac{4 \times A \text{ Pipa}}{\pi}\right)^{0.5}$
 - Cek kecepatan = $\frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$

2.3.4. Flokulasi

Menurut Reynolds & Richards, (1996;556), flokulasi adalah pengadukan lambat dari air yang telah ditambahkan koagulan untuk mengumpulkan partikel yang sudah di destabilisasi sehingga dapat membentuk flok. Terbentuknya flok-flok menjadi lebih besar sehingga berat jenisnya lebih daripada air, maka flok - flok tersebut akan lebih mudah mengendap di unit sedimentasi. Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi 39 membutuhkan dosis koagulan

yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak.



Gambar 2.4 Flokulasi Baffle Channel

Sumber : Kawamura, 2000

Berikut merupakan rumus perhitungan yang digunakan dalam merancang Flokulasi baffle channel:

- Dimensi Bak

- Debit tiap bak $= \frac{Q}{\text{Jumlah bak}}$
- Waktu detensi total $= \Sigma Td \text{ kompartemen}$
- Volume bak total (V) $= Q \times td \text{ total}$
- Dimensi Total
 $V = P \times L \times H$
- Kedalaman bak flokulasi
 $H \text{ total} = H + Fb$
- Dimensi tiap kompartemen
 $\text{Lebar} = \frac{\text{Lebar bak}}{\text{Jumlah kompartemen}}$
- Kecepatan partikel $= \frac{g \times (Sg - 1) \times D^2}{18 \times v}$

Keterangan :

g = Gravitasi (9.81 m/s)

Sg = Specific Gravity Sludge (2.6 m/s)

D = Diameter (m)
 v = Viskositas kinematis

- Perhitungan Kompartemen

- Jumlah baffle (n) = $\left[\left(\frac{2 \times \mu \times t d}{\rho (1.44 + f)} \right) \left(\frac{H \times P \times G}{Q} \right)^2 \right]^{1/3}$

Keterangan :

μ = Viskositas Absolut (N.s/m²)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

f = Freeboard

H = Kedalaman (m)

P = Panjang (m)

G = Gradient

- Jarak antar sekat = $\frac{\text{Panjang}}{\text{Jumlah baffle}}$

- Headloss kompartemen = $\frac{\mu \times T d}{\rho \times g} \times G^2$

- Jari-jari hidrolis = $\frac{w \times H}{w + (2 \times H)}$

- Cek Nre = $\frac{v p \times R^2 \times \rho}{\mu}$ (laminer < 2000)

- Slope Bak = $\frac{\text{Total Head Loss}}{\text{Panjang Bak}}$

- Perhitungan Pipa Outlet

- Diameter Pipa Outlet = $\left(\frac{\text{Debit tiap bak}}{(v \times 1/4 \times 3.14)} \right)^{0.5}$

- Cek Kecepatan = $\frac{\text{Debit tiap bak}}{\frac{1}{4} \times \pi \times (\text{Diameter Pipa Outlet})^2}$

- Jari-jari hidrolis = $\frac{w \times H}{w + (2 \times H)} = \frac{0,3 \times 3}{0,3 + (2 \times 3)} = 0,14$

- Cek Nre = $\frac{v p \times R^2 \times \rho}{\mu}$ (laminer < 2000)

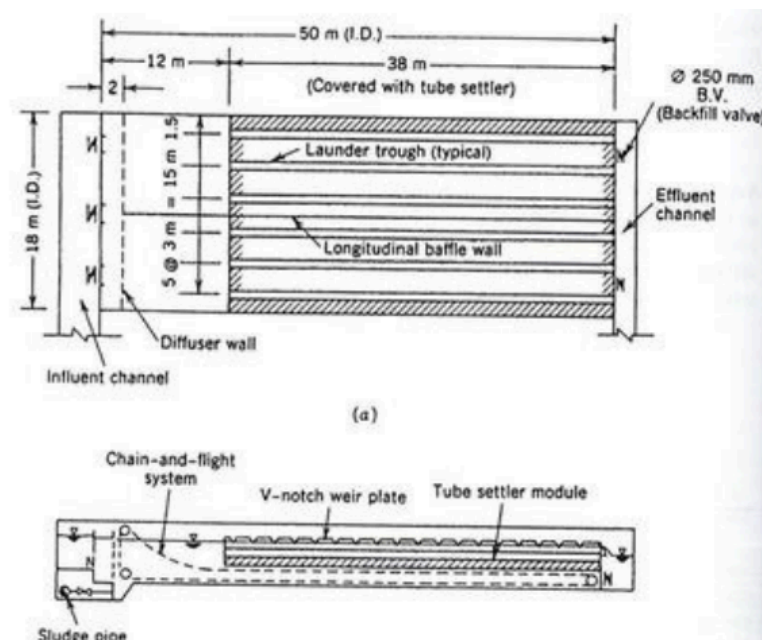
- Cek Nfr = $\frac{V^2}{g \times R}$ (Nfr > 10⁻⁵)

2.3.5. Sedimentasi

Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar

partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh adalah pengendapan Koagulasi – Flokulasi. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012) Kecepatan pengendapan tidak dapat ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besar partikel yang diuji dengan column settling test dan withdrawal ports pada waktu tertentu akan menghasilkan data removal sehingga akan didapat grafik isoremoval. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012) 30 Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid dan 25-40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

1. Aliran angin.
2. Suhu udara permukaan.
3. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air.
4. Suhu terstratifikasi dari iklim.
5. Bilangan Reynold

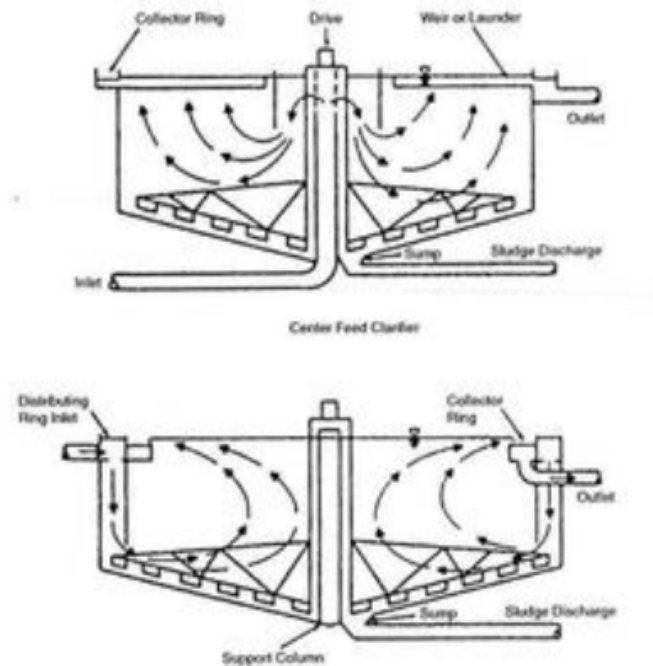


Gambar 2.5 Bak Sedimentasi

Sumber : Kawamura, 2000

Pada tangki sirkular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur sirkular yang didesain

untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah tengah sumur biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1-2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial. (Metcalf & Eddy, 2003)



Gambar 2.6 Sedimentasi Sirkular

Sumber : Kawamura, 2000

Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah : Surface Loading (Beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari. (Metcalf & Eddy, 2003)

Tabel 2.7 Kriteria Perencanaan Unit Sedimentasi

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan	Sumber
Overflow rate: Debit rata-rata Debit Puncak	Q_R	30-50 70-130	$m^3/m^2 \cdot hari$	(Qasim & Zhu, 2017)
Waktu Detensi	td	1-2 1,5-2,5	Jam	

Beban Permukaan	-	124-496	$m^3/m^2 \cdot hari$	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Dimensi Bak Sedimentasi				
Bentuk Kotak (Rectangular)				(Qasim & Zhu, 2017)
Panjang	p	10-100	m	
Lebar	l	6-24	m	
Kedalaman	h	2.5-5	m	
Rasio P dan L	-	1-7,5		
Rasio P dan T	-	4,2-25		
Bentuk Lingkaran (Circular)				
Diameter	d	3-60	m	
Kedalaman	h	3-6	m	
Penyisihan TSS	-	50-70	%	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Penyisihan BOD	-	50-80	%	
Kemiringan dasar	Slope (S)	1-2	%	(Qasim & Zhu, 2017)

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018 Halaman 41)

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

A. Perhitungan Dimensi

- Luas Permukaan $= \frac{\text{Debit air baku } (\frac{m^3}{hari})}{\text{Overflow Rate } (\frac{m^3}{hari.m^2})}$
- Kedalaman $= \frac{\text{Overflow rate} \times Td}{24 \text{ jam}}$
- Kecepatan (V_o) $= \frac{\text{Debit air baku}}{\text{Lebar} \times \text{Kedalaman}}$
- Efisiensi penyisihan (%) $= \frac{(y_o - y)}{y} \times 100\%$
- Kecepatan Pengendapan (V_s) $= \frac{n \times V_o}{(1 - \frac{y}{y_o})^{-\frac{1}{2}} - 1}$

Keterangan :

n = Grafik rate performance

V_0 = Kecepatan awal (m/s)

y = Kekeruhan outlet (mg/L)

y_0 = Kekeruhan inlet (mg/L)

- Jari-jari Hidrolis $= \frac{\text{Lebar} \times \text{Kedalaman}}{(2 \times \text{Kedalaman}) + \text{lebar}}$
- Cek Nre $= \frac{\rho \times v \times R}{\mu}$ (laminer, < 2000)
- Cek Nfr $= \frac{V^2}{g \times R}$ (Nfr $> 10^{-5}$)

B. Perhitungan Plate Settler

- Jumlah Plate $= \frac{P}{\left(\frac{W}{\sin \alpha}\right)} + 1$
- Q Plate $= \frac{Q}{n-1}$
- A Plate $= \frac{\text{Jarak antar plate}}{\sin \alpha} \times L$

Keterangan :

P = Panjang (m)

W = Jarak antar plate (m)

n = Jumlah plate

- Kecepatan (V_a) $= \frac{Q \text{ plate}}{A \text{ plate} \times \sin \alpha}$
- V_s Cek $= \frac{\text{Debit air baku}}{\text{Kedalaman} \times 2 \times Td}$ (10-18 V_s)

C. Perhitungan Ruang Lumpur

- Konsentrasi effluent TSS $= (100\% - \% \text{Removal}) \times \text{Konsentrasi TSS}$
- TSS Ter-removal $= \% \text{Removal} \times \text{Konsentrasi TSS}$
- Berat lumpur tiap hari (W_s) $= Q \times \text{TSS Ter removal}$
- Berat air (W_w) $= \frac{95\%}{5\%} \times W_s$
- Berat jenis lumpur $= (\rho \text{ lumpur} \times 5\%) + (\rho \text{ air} \times 95\%)$
- Ruang Lumpur
Volume ruang lumpur $= \frac{\text{Berat lumpur } (W_s) + \text{Berat air } (W_w)}{\text{Berat jenis lumpur}} \times t_p$

2.3.6. Sequencing Batch Reactor

Sequencing Batch Reactor (SBR) merupakan suatu reaktor cyclic (batch) yang didesain pada basis aliran intermitten yang masuk ke dalam masing-masing reaktor. Sistem SBR yang dinamis dan fleksibel memungkinkan ruang yang luas untuk ekspansi dan biaya operasional yang ekonomis. Prinsip pengoperasian SBR didasarkan pada prinsip mengisi dan menarik (fill and draw) yang terdiri dari lima tahap yaitu pengisian (fill), reaksi (reaction), pengendapan (settle), pengeluaran (decant) dan persiapan (idle) (Said, 2017). Tahapan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut (Von Sperling, 2007):

1. Pengisian (Fill)

Pada tahap ini air buangan dimasukkan ke dalam reaktor sampai mencapai volume tertentu.

2. Reaksi (React)

Pada tahap reaksi ini aliran air buangan dihentikan. Proses reaksi biologi yang sudah mulai berlangsung saat proses fill akan berlangsung sempurna pada periode ini sampai proses biodegradasi BOD dan nitrogen tercapai.

3. Pengendapan (Settle)

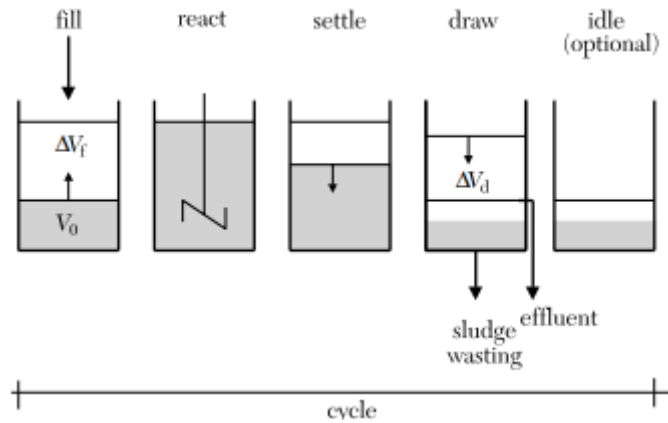
Selama fase settle, SBR berfungsi sebagai clarifier. Pada fase ini aerasi dihentikan untuk memberikan kesempatan pada biomassa untuk mengendap sehingga menghasilkan cairan supernatan yang terpisah dari lumpur. Pengendapan dapat berlangsung lebih sempurna karena kondisinya diam. Selama periode pengendapan tidak didapati adanya influent ataupun efluen pada reaktor untuk mencegah terjadinya turbulensi aliran.

4. Pembuangan air olahan (Decant)

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengeluarkan supernatan dari reaktor. Hal ini bisa dilakukan dengan pipa atau wire. Pada fase ini efluen dikeluarkan (supernatan air limbah yang telah diolah) dan hanya menyisakan lumpur biomassa, biasanya volume liquid dalam jumlah sedikit.

5. Pembuangan lumpur (Idle)

Merupakan fase diam menunggu pengisian kembali. Fase idle tidak mutlak diperlukan, meskipun demikian idle kadang perlu untuk menstabilkan lumpur biomassa sebagaimana yang terjadi dalam proses kontak stabilisasi.



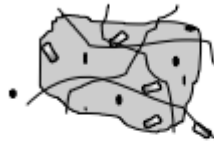
Gambar 2.7 Prinsip Pengoperasian Dasar SBR

Sumber: Von Sperling, 2007

Operasi yang sukses dari instalasi lumpur aktif bergantung pada pemisahan padat-cair yang efisien di tangki sedimentasi sekunder, dengan tujuan utama sebagai berikut: (a) menghasilkan limbah yang jernih dan (b) mengentalkan lumpur di dasar tangki sedimentasi hingga konsentrasi yang memadai untuk daur ulang ke reaktor. Kedua fungsi tersebut dapat terganggu jika lumpur memiliki kemampuan pengendapan dan pengentalan yang buruk. Ada beberapa jenis penurunan karakteristik lumpur, tetapi yang paling umum adalah *sludge bulking*, yang disebabkan oleh ketidakseimbangan antara populasi mikroorganisme yang membentuk gumpalan lumpur aktif.

INFLUENCE OF THE FILAMENTOUS ORGANISMS ON THE FLOC STRUCTURE

IDEAL, NON-BULKING FLOC



1. Filamentous and floc-forming organisms in equilibrium
2. Strong and large floc
3. Filaments do not interfere
4. Clear supernatant
5. Low SVI

PIN-POINT FLOC



1. Few or no filamentous organisms
2. Weak and small floc
3. Turbid supernatant
4. Low SVI

BULKING SLUDGE



1. Filamentous organisms prevail
2. Large and strong floc
3. Filaments interfere with settling and thickening
4. Clear supernatant
5. High SVI

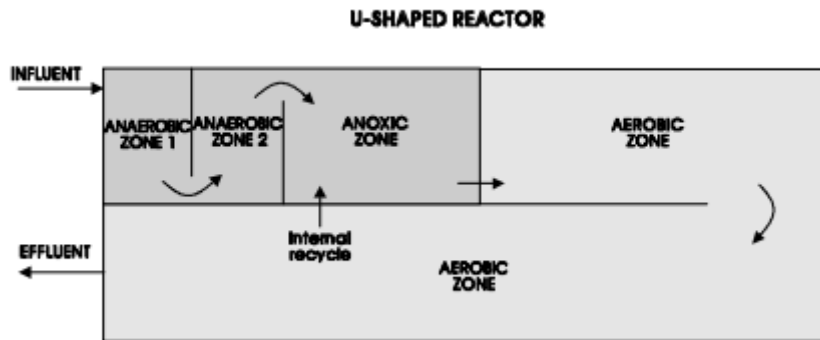
Gambar 2.8 Struktur Flok

Sumber: Von Sperling, 2007

Inti dari mekanisme ini terletak pada penciptaan kondisi lingkungan yang menguntungkan bagi dominasi bakteri pembentuk flok dibandingkan dengan bakteri filamen. Mikroorganisme yang paling diinginkan dalam reaktor kemudian dipilih melalui penggunaan reaktor khusus, yang disebut selektor, dalam desain reaktor biologis.

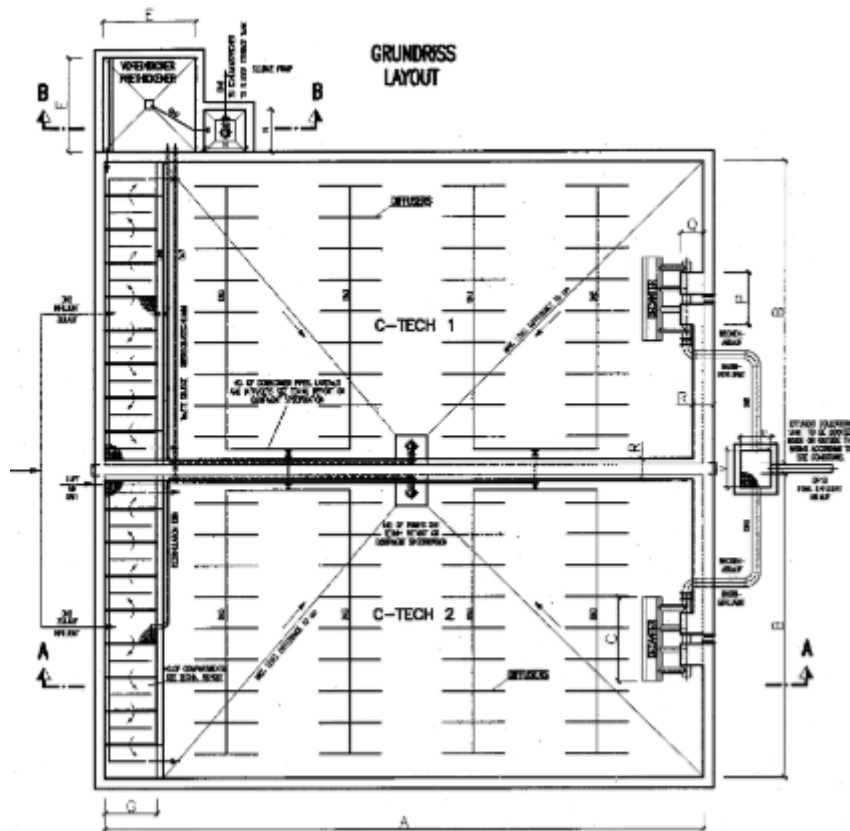
Pada reaktor aliran plug, ujung masuk reaktor memiliki rasio F/M yang tinggi, akibat konsentrasi BOD yang lebih tinggi yang disebabkan oleh masuknya limbah cair masuk. Faktanya, studi di beberapa instalasi lumpur aktif dengan reaktor aliran plug-flow menunjukkan kemampuan pengendapan lumpur yang lebih baik dan nilai SVI yang lebih rendah dibandingkan dengan instalasi yang menggunakan reaktor campuran lengkap (WRC, 1990). Reaktor aliran plug-flow umumnya bersifat longitudinal, baik melalui tangki panjang yang mengalir satu arah, maupun melalui tangki dengan beberapa dinding U atau penghalang (lihat

Gambar 7.4 reaktor berbentuk U). Bentuk U, yang juga sering digunakan dalam instalasi penghilangan nutrisi biologis, memungkinkan alokasi reaktor yang mendekati aliran plug di area yang tidak dominan longitudinal. Selain itu, panjang beberapa pipa dapat dikurangi, terutama pipa sirkulasi internal.



Gambar 2.9 U Shape Reactor

Sumber: Von Sperling, 2007



Gambar 2.10 Tampak Atas Unit SBR

Sumber : Grundfoss C-tech catalog

Tabel 2.8 Kriteria Perencanaan SBR

Kriteria Perencanaan		Satuan	Sumber
Umur sludge (teta c)	20-25	day	Sperling, 2007 activated Sludge And Aerobic Biofilm Reactors. pg 194
Konsentrasi MLVSS (Xv)	2000-4000	mg/l	US-EPA, 1999
Sludge settleability	fair to poor		Sperling, 2007 activated Sludge And Aerobic Biofilm Reactors. pg 194
waktu kedatangan air limbah	24.00	h/d	
Tinggi total (Htot)	3.5 - 6	m	
total operational cycles time	4 - 24	h	US-EPA, 1999
total operational cycles time	6 - 8	h	Sperling, 2007 activated Sludge And Aerobic Biofilm Reactors. pg 194
Hydraulic Retention Time	6 - 14	h	US-EPA, 1999

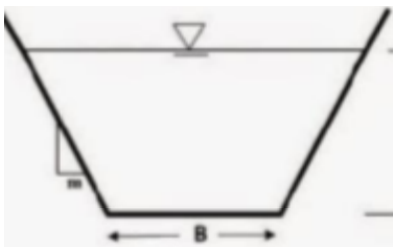
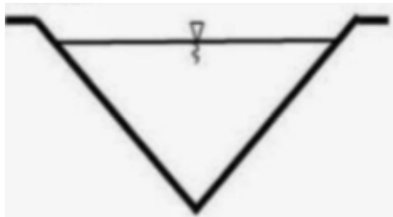
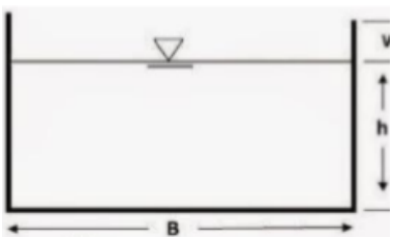
2.3.7. Saluran Pembawa

Saluran pembawa merupakan saluran yang berfungsi mengantarkan air limbah dari satu bangunan ke bangunan pengolahan limbah. Saluran pembawa bisa berbentuk persegi maupun lingkaran dengan dinding yang terbuat dari beton maupun pipa penyaluran yang dapat didesain secara terbuka maupun tertutup (Hermana, 2003). Saluran pembawa secara umum menggunakan prinsip gravitasi yang memanfaatkan kemiringan (slope) untuk mengalirkan air (Nasoetion et al., 2017).

Secara konstruksi saluran pembawa dibagi menjadi 2, yakni saluran terbuka (*open channel flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). Keduanya memiliki persamaan, yakni menggunakan gaya gravitasi untuk mengalirkan aliran. Saluran

terbuka (*Open channel flow*) merupakan saluran yang secara alirannya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Saluran tertutup (*pipe flow*) merupakan saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh oleh atmosfer, saluran tertutup di lapangan terkadang ditanam didalam permukaan tanah yang disebut dengan sistem sewerage.

Tabel 2.9 Tipe saluran pembawa

No.	Tipe saluran	Potongan melintang	Bahan yang digunakan
1	Bahan yang digunakan		Tanah asli
2	Bentuk segitiga		Pasangan batu kali atau tanah asli
3	Segi empat		Pasangan batu kali atau beton bertulang

Sumber: Dept. Pekerjaan Umum pedoman konstruksi bangunan "Perencanaan sistem drainase jalan"

Tabel 2.10 Koefisien n Manning untuk Saluran Pembawa

Bahan Batas	n Manning
Kayu yang diketam (diserut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013

Bahan Batas	n Manning
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,025
Tanah	0,025
Tanah dengan batu/rerumputan	0,035
Kerikil	0,029

Sumber: Spellman, F. R. (2013). *Water & wastewater infrastructure: Energy efficiency*

Berikut merupakan kriteria perencanaan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah.

1. Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 2,4m/s
2. Kemiringan (slope) maksimal = 1,10 – 3m/m
3. Freeboard saluran = 5-30%
4. Dimensi saluran direncanakan (W_s) = $B = 2H$
5. Kekasaran saluran (n) = 0,011 – 0,020 (saluran terbuka bahan beton)

(Sumber : Spellman, F. R. (2013). *Water & wastewater infrastructure: Energy efficiency and sustainability. Halaman 285*)

Berikut rumusan perhitungan yang dapat digunakan untuk merancang saluran pembawa :

- a. Luas Permukaan

$$A = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{detik)}}{v \text{ (m/detik)}}$$

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = debit limbah (m^3/detik)

V = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/detik)

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 5)

b. Kedalaman Saluran (H)

$$H = \sqrt{\frac{A (m^2)}{2}}$$

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

c. Ketinggian Total

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

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

freeboard = 20% dari ketinggian total.

d. Cek Kecepatan (Rumus Manning)

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan:

n = Koefisien manning

R = Jari-jari hidraulik

S = Slope (Kemiringan dasar saluran)

e. Jari-jari Hidrolis

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

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = lebar saluran pembawa (m)

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 19)

f. Slope Saluran (rumus manning)

$$S = \left(\frac{Q \times n}{1,49 \times A \times R^{\frac{3}{2}}} \right)^2$$

Keterangan :

S = slope/kemiringan saluran (m)

Q = debit air limbah

n = koefisien manning saluran (m/m)

R = jari – jari hidrolis (m)

A = luas permukaan saluran

g. *Head Loss* Saluran Pembawa

$H_f = \text{Slope} \times L$ saluran

Keterangan:

$H_f = \text{head loss}$ saluran (m)

L = panjang saluran (m)

2.4. Persen Removal

Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman %penyisihan untuk unit pengolahan beserta keseluruhan parameter dalam air limbah tahu sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air limbah yang telah direncanakan. Berikut rangkuman %penyisihan air limbah tahu beserta sumber yang tertera.

Tabel 2.11 Persen Penyisihan Unit Pengolahan

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber / Literatur
Netralisasi	pH	pH = 6-9	(Reynold/Richard , Unit Operations & Processes in Env. Engineering. edition, page 161)
Koagulasi - Flokulasi - Sedimentasi	Fosfat	50-90% (alum)	(Macherzyński, et.al. 2023. Comparative efficiency of phosphorus removal from supernatants by coagulation process)

	BOD	50-80%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Page 497)
	TSS	80-90%	
	TDS	10-20%	(Droste, Chapter 9, Water and Wastewater Treatment, Page. 224)
Sequencing Batch Reactor	COD	60-96%	Saeid, Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals. Wiley, 2020. pg. 315
	TSS	62-99%	
	BOD	85-95%	Metcalf & Eddy, 1990. Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and. Reuse. 3th Edition.
	Fosfat	30-80%	Mackenzie, 2002. Water and wastewater design principles and Practice
	Nitrat	<80%	(Sperling, 2007. Activated Sludge And Aerobic Biofilm Reactors. page 161)

Sumber : Tertera pada Tabel

2.5. Profil Hidrolis

Profil hidrolis dibuat untuk menentukan ketinggian muka air pada setiap unit instalasi. Profil ini menggambarkan adanya kehilangan tekanan (headloss)

yang terjadi selama proses aliran di dalam bangunan. Perbedaan ketinggian pada tiap unit instalasi dapat dihitung berdasarkan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan, baik yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maupun yang dihitung langsung pada bab ini.

Profil hidrolis pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan representasi grafis dari “hydraulic grade line” yang menunjukkan elevasi unit pengolahan (masuk dan keluar air) serta jaringan perpipaan. Tujuannya adalah untuk memastikan aliran air berjalan dengan sistem gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, serta mencegah terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik.

Profil hidrolis sangat penting dalam proses pengaliran air karena bergantung pada energi tekan atau head tekan (dinyatakan dalam tinggi kolom air) yang tersedia untuk menggerakkan aliran. Head ini biasanya berasal dari perbedaan elevasi antara titik tinggi dan rendah, sehingga air dapat mengalir secara gravitasi. Jika perbedaan elevasi tidak mencukupi, maka diperlukan tambahan tekanan dari luar, misalnya dengan menggunakan pompa.

Secara keseluruhan, profil hidrolis adalah cara untuk menggambarkan secara visual “hydraulic grade line” dalam instalasi pengolahan air, yang meliputi elevasi unit pengolahan (influent dan effluent) serta jaringan perpipaan. Hal ini bertujuan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, mengidentifikasi kebutuhan pompa, dan mengantisipasi kemungkinan terjadinya banjir atau luapan akibat aliran balik.