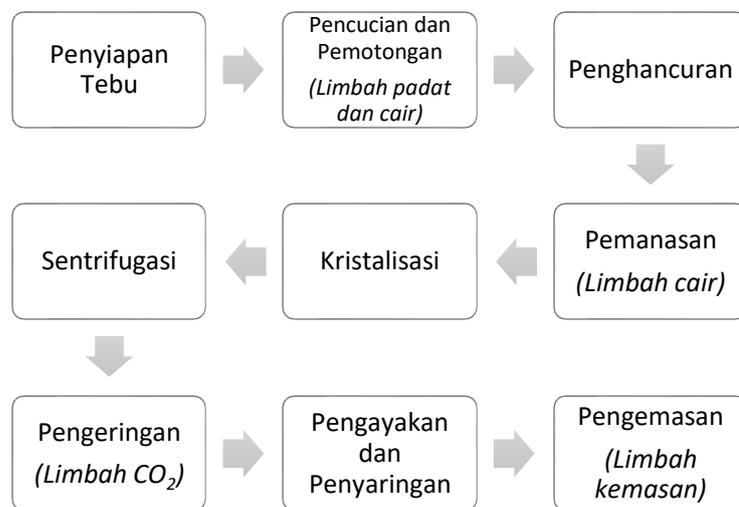


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Gula

Gula pasir atau gula kristal putih ialah zat pemanis alami yang digunakan untuk bahan baku di industri makanan dan juga kebutuhan sehari-hari di rumah tangga. Gula ini dihasilkan dari tebu atau bit. (Solomon, 2011). Tidak heran apabila limbah yang dihasilkan oleh industri gula juga meningkat dikarenakan permintaan masyarakat terhadap kebutuhan mengalami peningkatan. Pabrik Gula Tjoekir berupaya secara konsisten menjalankan prosedur dan teknis yang terstruktur dalam berbagai tahap produksi dengan tujuan menghasilkan gula pasir berkualitas. Kualitas gula pasir yang dihasilkan tidak hanya dilihat dari aspek fisiknya saja, tetapi juga kandungan gizinya menjadi perhatian utama. Berikut ini skema alur dan proses pembuatan gula dari bahan tebu:



(Sumber: (Mardiana, D. (2019))

Gambar 2.1. Skema Proses Pembuatan Gula Tebu

Dari Gambar 2.1 kita mengetahui bahwa limbah gula, baik limbah padat maupun cair, gas dan kemasan terbentuk pada proses pencucian, pematangan tebu, pemanasan, pengeringan, dan pengemasan (Padmavathi, T., & Ananth, R., 2015).

2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Gula

Air limbah terdiri dari campuran antara cairan dan limbah buangan yang dihasilkan dari berbagai macam sumber seperti industri, rumah tangga, perdagangan, air tanah, air permukaan, dan limbah lainnya yang dapat berdampak pada lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Metcalf & Eddy et al., 2007). Tiap-tiap air limbah memiliki ciri khas yang berbeda, termasuk air limbah industri yang memiliki karakteristik yang berbeda tergantung pada produk yang dihasilkannya. Salah satunya adalah industri gula, yang memiliki karakteristik limbah yang berbeda dibandingkan dengan industri lainnya. Mengetahui ciri khas dari air limbah sangat penting karena dibutuhkan untuk mengetahui pengolahan yang akan dilakukan.

Berdasarkan Peraturan Gubernur Jatim No.72 Tahun 2013 terdapat 6 (enam) parameter utama limbah industri gula yang perlu diolah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, senyawa sulfida, minyak lemak dan pH air limbah industri gula. Keenam parameter tersebut harus diolah sesuai dengan baku mutu menggunakan unit yang telah direncanakan. Adapun penjelasan terkait dengan keenam karakteristik limbah cair industri gula sebagai berikut:

2.2.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis (biological oxidation) di dalam air limbah secara dekomposisi aerobik (Metcalf and Eddy, 2003). Nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik sebenarnya, melainkan hanya mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik tersebut (Wulandari, 2018). Menurut Perry (1998), 5 (lima) hari hanya merepresentasikan sebagian dari total BOD. Perry (1998) juga memperkirakan bahwa sebanyak 70% bahan organik dapat terurai selama 5 hari oleh mikroorganisme alami.

Kandungan BOD yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 adalah sebesar 60 mg/L.

2.2.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik yang ada di air secara kimiawi. Angka COD merupakan ukuran bagi beban pencemar air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses 6 mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya kondisi oksigen di dalam air. Apabila terdapat kandungan senyawa organik dan anorganik yang besar di dalam air, maka oksigen terlarut di dalam air dapat berkurang sampai pada titik nol, sehingga menyebabkan tumbuhan air, ikan, dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak dapat hidup di dalamnya. Meskipun nilai COD dan BOD ultimate bisa saja sama, namun nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate dan hal tersebut sangatlah jarang terjadi.

Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 yang mengatur tentang baku mutu, kandungan COD yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 100 mg/l.

2.2.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sukar mengendap, melayang-layang, dan tidak larut di dalam air. Padatan TSS memiliki sifat sukar mengendap akibat muatan elektrostatis dan gerak brown sehingga stabil di dalam air. Tingkat kekeruhan air sangat dipengaruhi oleh padatan tersuspensi. Kekeruhan sendiri menggambarkan sifat optik air yang ditentukan oleh jumlah cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut dapat menyebabkan kekeruhan. Semakin tinggi kadar bahan tersuspensi di dalam air, maka tingkat kekeruhan air akan semakin tinggi pula (Effendi, 2003).

TSS dalam jumlah besar jika tidak diolah dapat menyebabkan kekeruhan dalam air dan jika berada di dasar perairan akan mengganggu proses perkembangbiakan biota air. Kandungan TSS yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 adalah sebesar 50 mg/L.

2.2.4 Senyawa Sulfida (H₂S)

Hydrogen sulfida, H₂S, adalah gas yang tidak berwarna, beracun, mudah terbakar dan berbau seperti telur busuk. Kadar sulfida di badan air akan

memengaruhi biota yang ada di dalamnya dan kondisi sekitarnya. Badan air yang mengandung zat organik tinggi maka akan terjadi penguraian partikel tersebut (Ningrum, S. O. ,2018). Proses penguraian zat organik akan muncul hidrogen sulfida (H₂S) dikenal dengan nama sulfana sehingga menimbulkan bau busuk pada perairan (Purba 2009). Gas ini terbentuk dari adanya aktivitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan anaerobik, seperti di rawa, dan saluran pembuangan kotoran (Rahim 2010).

Berbagai parameter sulfida ditemukan dalam limbah cair industri gula yang merupakan hasil dari proses pemurnian sari tebu di stasiun pemurnian dan masakan. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 yang mengatur tentang baku mutu, kandungan Sulfida yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 0.5 mg/l.

2.2.5 Minyak dan lemak

Minyak dan lemak merupakan pelapisan dari permukaan limbah cair yang dapat mempengaruhi aktifitas mikroba sehingga menghambat proses oksidasi saat keadaan aerob. Pada saat proses netralisasi, minyak dapat terhilang dengan menambahkan NaOH sehingga membentuk busa yang terapung di permukaan dan bergabung dengan benda lain (Ummah, M., & Hidayah, H. A. N. , 2018)). Parameter minyak dan lemak dapat ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan hasil dari pemisahan sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian.

Lemak dan minyak dapat membentuk ester, alkohol, atau gliserol dengan asam lemak. Gliserid dari asam lemak tersebut dapat berupa minyak atau lemak yang kental dan padat. Lemak termasuk benda organik yang sulit diuraikan oleh bakteri. Sebagai panduan dalam pengelolaan air limbah, dampak negatif dari lemak terjadi pada dua hal, yaitu pada saluran air limbah dan pada bangunan pengolahan. Jika lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah, dapat mempengaruhi kehidupan di permukaan air dan menyebabkan lapisan tipis di permukaannya. Kadar lemak maksimum yang dapat ditoleransi dalam air limbah adalah sebesar 15-20 mg/L (Sugiharto, 1987).

Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 yang mengatur tentang baku mutu, kandungan minyak dan lemak yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 5 mg/l.

2.2.6 pH Air Limbah

pH atau derajat keasaman digunakan sebagai salah satu ukuran tingkat asam atau basa suatu larutan. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) yang tinggi sulit diolah secara biologis sehingga perlu diolah terlebih dahulu melalui unit pengolahan tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007). Mikroorganisme dalam pengolahan limbah dapat hidup optimal pada tingkat keasaman (pH) yang netral yaitu berkisar antara 6 hingga 9. pH netral yang diizinkan dalam baku mutu oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 yaitu sebesar 6 sampai 9.

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri tahu ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, dan pH air limbah serta senyawa-senyawa lain seperti senyawa organik maupun anorganik. Menurut (Sugiharto, 1987) Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok/tingkatan pengolahan diantaranya adalah:

- a. Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)
- b. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)
- c. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)
- d. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

2.3.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)

Pengolahan pendahuluan merupakan tahap awal dalam proses pengolahan air limbah yang digunakan untuk menghilangkan pengotor tertentu maupun untuk menstabilkan air limbah sehingga mampu diterima pada unit pengolahan berikutnya. Unit pengolahan air limbah secara umum dalam pengolahan pendahuluan (pre-treatment) diantaranya adalah intake & screening/shredding, grit removal, flow equalization, pra-sedimentasi, dan quality equalization.

a. Saluran Pembawa

Menurut Hermana et al. (n.d.), Saluran Pembawa merupakan saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Ada dua bentuk Saluran Pembawa yaitu persegi dan lingkaran, dan keduanya dapat terbuat dari beton atau pipa penyalur. Saluran Pembawa dapat didesain sebagai saluran terbuka atau tertutup saat melakukan penyaluran air limbah.



(Sumber: *Wikipedia.org*)

Gambar 2.2 (a) Saluran Tertutup (b) Saluran Terbuka

Sistem saluran tertutup atau *pipe flow* (a) tidak terpengaruh oleh udara atmosfer karena permukaan airnya selalu tertutup. Konstruksinya biasanya terletak di dalam tanah dengan kedalaman tertentu, yang sering disebut dengan sistem sewerage. Meskipun tertutup, aliran air dalam saluran ini masih mengikuti gravitasi, sama seperti pada saluran terbuka. Pipa yang digunakan pada saluran tertutup harus dipilih sesuai dengan karakteristik limbah yang dihasilkan (Wesli, 2008).

Saluran terbuka atau *open channel flow* (b) adalah sistem saluran dimana permukaan airnya berinteraksi dengan udara atmosfer. Terdapat beberapa jenis bentuk saluran terbuka seperti trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, atau kombinasi dari beberapa bentuk tersebut. Karena sifatnya yang terbuka, saluran ini memiliki kontak langsung dengan udara luar. Saluran terbuka biasanya digunakan untuk mengalirkan air hujan atau limbah yang tidak berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan, dan memerlukan ruang yang luas (Wesli, 2008).

Menurut Kodoatie & Sugiyanto (2002), perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) terletak pada adanya

permukaan yang bebas, yaitu udara yang selalu ada pada saluran terbuka. Namun, jika aliran dalam pipa tidak penuh sehingga masih terdapat rongga yang berisi udara, maka karakteristik aliran dalam pipa akan sama dengan saluran terbuka. Unit pengolahan air limbah pada proses produksi akan mengalirkan air limbah melalui saluran pembawa menuju bak penampung, dan dalam merancang bangunan ini harus memenuhi kriteria perencanaan serta menggunakan rumus yang sesuai.

Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6m/s
- Kemiringan (slope) maksimal = <0,001 m/m
- Freeboard saluran = 5-30%
- Kekasaran saluran (n) = 0,002 – 0,012 (saluran pipa tertutup bahan plastik halus)

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II)

Tabel 2.1 Koefisien Manning

Bahan	Koefisien Manning
Kayu yang diketam (serut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beeton yang dihaluskan	0,013
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,015

Bahan	Koefisien Manning
Tanah	0,025
Tanah dengan batu	0,035
kerikil	0,029

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

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk merencanakan saluran terbuka (beton) sebagai berikut.

- Luas Permukaan (A)

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/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)

- Diameter Pipa Inlet

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

D = diameter pipa (m)

- Cek Kecepatan menggunakan 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)

- Cek Waktu Tinggal Maksimum Saluran Pembawa (Td)

$$T_d = \frac{Q \text{ total saluran}}{Q}$$

Keterangan:

Q = debit

Td = waktu detensi

- Jari-jari Hidrolis

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

Keterangan:

D = diameter pipa (m)

- Slope Saluran

$$R = \left(\frac{Q \times n}{1,49 \times A \times R^{\frac{2}{3}}}\right)^2 \quad \text{atau} \quad \frac{H_f}{L}$$

S = slope/kemiringan saluran (m)

Q = debit air limbah

R = jari-jari hidraulis

n = koef. Manning

A = luas permukaan saluran

- Headloss Saluran Pembawa

Hf = Slope x L saluran

Keterangan:

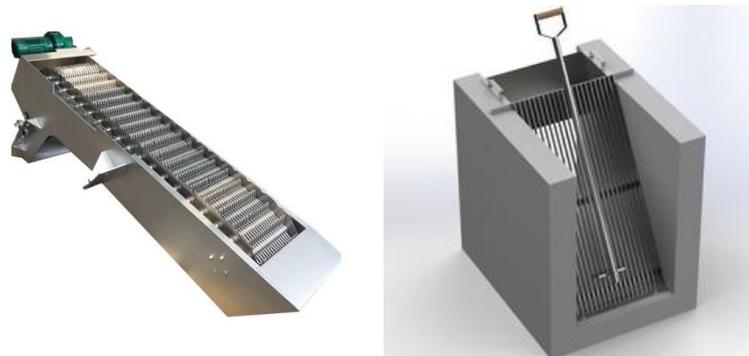
Hf = headloss saluran (m)

L = panjang saluran (m)

b. Unit Screening

Screen digunakan untuk menghilangkan kotoran kasar (seperti potongan kain, padatan, dan ranting), yang mungkin merusak pompa atau menyumbat pipa dan saluran hilir. Padatan kasar yang lolos dapat

menyebabkan kerusakan alat pengolah limbah, mengurangi efektifitas pengolahan sehingga biaya pengolahan meningkat dan adanya kontaminasi pada aliran air. Secara umum screen dibedakan berdasarkan jenis saringannya yaitu saringan kasar dan halus. Biasanya pada saringan kasar menggunakan pembersihan secara manual, sedangkan untuk saringan halus menggunakan pembersihan mekanis. Adapun jenis dari bar screen adalah fine screen (saringan halus) dan coarse screen (saringan kasar). Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis bar screen yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik.



(Sumber: *Wikipedia.org*)

Gambar 2.3 (a) Automatic bar screen, (b) Manually bar screen

Bar screen umumnya terbuat dari batangan besi atau baja yang dilapisi anti karat, dipasang pada kerangka melintang di dalam saluran air dengan posisi miring ke arah inlet air, dengan kemiringan antara 30-45 derajat dari horizontal. Ketebalan batangan biasanya berkisar antara 5-15mm, dengan jarak antar batang sekitar 25-50mm, agar bisa disesuaikan dengan parameter atau limbah yang ingin disaring. Pembuatan dan perhitungan bar screen didesain berdasarkan debit pada saat aliran puncak. (Metcalf & Eddy et al., 2007; Qasim & Zhu, 2017).

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

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Bar Screen

Parameter	US Custom Unit		Satuan Internasional	
	Metode		Metode	
	Manual	Otomatis	Manual	Otomatis
[Ukuran Batang]				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	25 – 38
Jarak Antar Batang	1,0 – 2,0	0,6 – 0,3	25 – 50	15 – 75
[Parameter lain]				
Kemiringan thd vertikal (derajat)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30
Kecepatan	1,0-2,0 ft/s	2,0-3,25ft/s	0,3-0,6m/s	0,6-1,0m/s
Headloss (max)	6 in	5-24in	150mm	150-600mm

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 315-316)

Mircoscreens merupakan saringan yang berukuran kurang dari 0.5 μm digunakan untuk zat atau material yang mengapung, alga, dan lainnya yang berukuran kecil. Bentuk *mircoscreens* dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 *Mircoscreens*

Sumber:

(<http://www.filtramas.com/wpcontent/uploads/2018/05/Microtamiz.jpg>)

Tabel 2.3 Klasifikasi *Microscreen*

Bentuk Kisi	B
Segi empat sisi runcing	2,42
Segi empat sisi bulat runcing	1,83
Segi empat dengan sisi bulat	1,67
Segi empat dengan sisi bulat	1,79
Segi empat dengan sisi bulat	0,76

(Sumber : Qasim, S. R., & Zhu, G. (2017))

Saringan halus digunakan untuk menyaring partikel dengan ukuran bukaan 2,3-6 mm. Biasanya digunakan untuk pengolahan pendahuluan (pre-treatment) maupun pengolahan pertama atau utama (primary treatment). Fine Screen terdiri dari fixed dan movable Screen. Fixed screen atau static dipasang secara permanen dalam posisi vertikal, miring, atau horizontal, dan harus dibersihkan dengan garu, gigi, atau sikat. Berikut untuk klasifikasi dan persen removal *Fine Screen*:

Tabel 2.4 Klasifikasi Fine Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range ukuran			
		In	Mm		
Miring / diam	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel	Pengolahan Primer
Drum / berputar	Kasar	0,1 – 0,2	2,5 – 5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel.	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel	Pengolahan Primer
	Halus	6 – 35 μ m		Stainless-steel dan kain polyester	Meremoval residual dari suspended solid sekunder
Horizontal Reciprocating	Sedang	0,06 – 0,17	1,6 – 4	Batangan Stainless-steel	Gabungan dengan saluran air hujan
Tangensial	Halus	0,0475	1200 μ m	Jala-jala yang terbuat dari stainless-steel	Gabungan dengan saluran pembawa

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 322-32)

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

- Tinggi bar *screen*

$$\text{Tinggi bar screen} = H_{\text{saluran}} + (Fb \times H_{\text{saluran}})$$

Keterangan:

H = tinggi (m)

Fb = freeboard

- Jumlah batang kisi (n)

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

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar bar/kisi (m)

- Lebar bukaan *screen* (wc)

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

Keterangan:

wc = lebar bukaan *screen*

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi kisi (γ)

$$\gamma = h + \text{freeboard}$$

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang kisi (P)

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

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = panjang kisi (m)

- Jarak kemiringan kisi (x)

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

Keterangan:

α = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

- Kecepatan melalui kisi (V_i)

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

Keterangan:

Q = debit inlet air limbah

h = tinggi muka air

wc = lebar bukaan *screen*

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

$$H_f = \frac{1}{C} \times \left(\frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right), C \text{ merupakan koefisien pada saat tidak } clogging$$

yaitu 0,7

- Saat *clogging*

$$H_f = \frac{1}{C_c} \times \left(\frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right), C_c \text{ merupakan koefisien pada saat } clogging \text{ yaitu}$$

0,6

c. Grease Trap

Perangkat pipa yang dikenal dengan nama Grease Trap memiliki beberapa nama lain, seperti pencegat lemak, perangkat pemulihan minyak, dan konverter limbah minyak. Fungsinya adalah untuk menangkap sebagian besar lemak dan zat padat lainnya sebelum masuk ke dalam sistem pembuangan air limbah. Karena umumnya limbah mengandung sedikit minyak, maka Grease Trap membantu mencegah terbentuknya lapisan busa yang mengambang di dalam septik tank dan fasilitas pengolahan.

Perangkap grease atau minyak dan oli yang dikenal dengan nama Grease Trap memiliki fungsi untuk memisahkan minyak dari air, sehingga mencegah minyak menggumpal dan membeku di dalam pipa pembuangan yang dapat menyebabkan tersumbatnya pipa. Terbuat dari bahan pasangan bata atau stainless steel yang tahan terhadap korosi, Grease Trap dapat digunakan baik di lingkungan rumah tangga maupun di restoran.

Perangkat pipa yang dikenal dengan nama Grease Trap memiliki beberapa nama lain, seperti pencegat lemak, perangkat pemulihan minyak, dan konverter limbah minyak. Fungsinya adalah untuk menangkap sebagian besar lemak dan zat padat lainnya sebelum masuk ke dalam sistem pembuangan air limbah. Karena umumnya limbah mengandung sedikit minyak, maka Grease Trap membantu mencegah terbentuknya lapisan busa yang mengambang di dalam septik tank dan fasilitas pengolahan.

Lapisan minyak dan lemak yang terbentuk di dalam sistem pembuangan air limbah sulit dicerna dan dipecahkan oleh mikroorganisme melalui proses pencernaan anaerobik. Namun, produksi makanan yang sangat banyak di dapur dan restoran dapat menyebabkan banjirnya tangki septik atau fasilitas perawatan, dan menyebabkan limbah tidak terolah langsung terbuang ke lingkungan. Selain itu, minyak masak yang memiliki viskositas tinggi, seperti lemak babi, akan membeku menjadi padat saat didinginkan, dan bersama-sama dengan limbah padat lain, dapat menyebabkan penyumbatan di dalam pipa saluran. Semakin bertambahnya waktu, semakin tebal pula lapisan minyak dan lemak yang ada pada grease trap. Sehingga dibutuhkan pembersihan dengan cara kotoran yang ada di bak penampung minyak pada grease trap dihisap oleh pipa penghisap melalui manhole.



Gambar 2.6 (a) Automatic grease Trap (b) Manual Grease Trap

(Sumber: <https://www.aquacure.co.uk/>)

Adapun 3 jenis grease trap yang biasa digunakan dalam industri dalam mengolah air buangan:

1. *Passive Hydromechanical Grease Trap* (manual Grease Trap)

Manual Grease Trap memerlukan pengelolaan yang lebih banyak dan harus dikosongkan secara teratur. Untuk mengeluarkan limbah, manual grease trap harus dibuka dan limbah diangkat secara manual, kemudian dibuang ke tempat pengolahan limbah. Hal ini memerlukan waktu dan tenaga, serta meningkatkan risiko tumpahan limbah dan pencemaran lingkungan. Grease trap ini membatasi aliran dan menghapus 85-90% dari lemak dan minyak yang masuk. Unit ini biasanya diletakkan di bawah bak kompartemen pencuci di dalam dapur.

2. *Grease Recovery Devices* (otomatis Grease Trap)

Automatic Grease Trap bekerja secara otomatis dan memiliki pengelolaan yang lebih mudah. Unit ini dilengkapi dengan sensor yang memonitor tingkat lemak dan minyak, dan secara otomatis mengeluarkan limbah ketika mencapai tingkat tertentu. Hal ini membuat automatic grease trap lebih efisien dan mengurangi risiko penumpukan limbah. Automatic grease trap memisahkan lemak, minyak, dan limbah padat dari air limbah sebelum memasuki sistem plumbing. Biasanya dipasang di dapur atau area persiapan makanan, di mana air limbah mengandung lemak dan minyak.

3. *Gravity Interceptors* (gravitasi Grease Trap)

Unit Interceptors Grease Trap adalah jenis grease trap yang menggunakan teknologi canggih dan otomatis untuk memisahkan lemak, minyak, dan partikel makanan dari air limbah sebelum masuk ke sistem plumbing. Unit ini memiliki beberapa fitur seperti sensor yang dapat memonitor tingkat lemak dan minyak, dan pompa otomatis untuk mengeluarkan limbah yang terakumulasi. Unit ini juga memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghilangkan lemak dan minyak dari air limbah.

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit grease trap antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.5 Kriteria Unit Grease Trap

Parameter	Nilai	Satuan
Kecepatan aliran	2 - 6	m/jam
Waktu tinggal	5 - 20	menit
Kedalaman aktif	0,5	meter
Tinggi area pengendapan	0,3	meter
Tinggi Scum	0,2	meter
<i>Freeboard</i>	0,3	meter
Tinggi total	1,3	meter

(Sumber: Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2017)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung unit grease trap antara lain:

- Volume yang dibutuhkan

$$V = Q_{\text{inlet}} \times t_d$$

Keterangan:

Q_{inlet} = debit inlet (m³/detik)

t_d = waktu detensi (menit)

- Luas Area

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

Keterangan:

Q = debit inlet (m³/detik)

V = kecepatan aliran (m/detik)

- Panjang kompartemen

Panjang kompartemen 1 = 2/3P

Panjang kompartemen 2 = 1/3P

$A' = P \times L$

- Cek kecepatan aliran

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

Keterangan:

Q = debit aliran (m³/detik)

A = luas permukaan (m²)

- Efisiensi pengolahan

$\gamma = (1 - \gamma) \times \text{konsentrasi minyak lemak}$

- Dimensi pipa

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

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

- Headloss Grease Trap

Jari-jari hidraulis (R)

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

Keterangan:

W = lebar bak (m)

H = tinggi bak (m)

R = jari-jari (m)

- Slope Grease Trap

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

S = slope/kemiringan saluran (m)

Q = debit air limbah

R = jari-jari hidraulis

n = koef. Manning

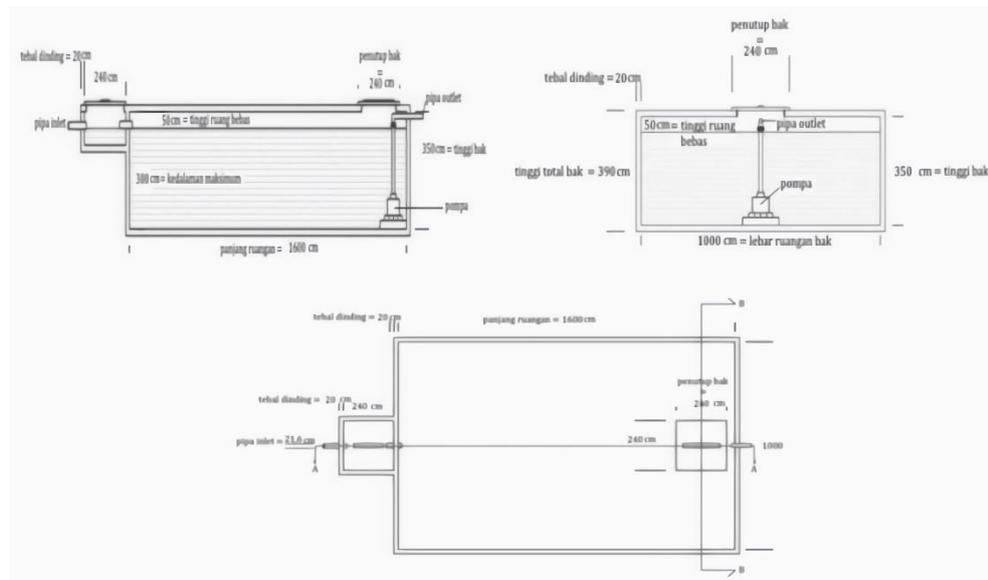
A = luas permukaan saluran

d. Bak Ekualisasi

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

ekualisasi maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (inlet) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak ekualisasi, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Aplikasi bak ekualisasi memiliki manfaat utama, antara lain: (1) memungkinkan pengolahan biologis yang lebih optimal karena dapat mengurangi/dicegah tingkat pemuatan tiba-tiba dan mengencerkan zat penghambat; (2) dapat meningkatkan kualitas efluen dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah dengan meningkatkan konsistensi dalam pemuatan padatan; (3) dapat mengurangi kebutuhan luas permukaan dalam unit filtrasi, meningkatkan kinerja filter, dan memungkinkan siklus backwash yang lebih seragam dengan muatan hidrolis yang lebih rendah (efisiensi penggunaan); (4) dapat mengurangi penggunaan bahan kimia dalam pengolahan kimia karena dapat mengatasi fluktuasi parameter yang tidak stabil setiap jamnya. Meskipun demikian, terdapat juga beberapa kekurangan dalam penggunaan unit bak ekualisasi, seperti: (1) memerlukan area/lokasi yang luas; (2) dapat menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal; (3) memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2.7 Unit bak ekualisasi

(Sumber: Efendi, 2003)

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

- Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- 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):

Tabel 2.6 Kriteria Bak Ekualisasi

Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
Kedalaman air minimal (h_{\min})	1,5 - 2	meter	(Metcalf & Eddy et al., 2007)

Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
Laju pemompaan udara (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	1 – 2	Jam	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Ambang batas / <i>freeboard</i> (h_{fb})	5 – 30	%	

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

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

- Waktu tinggal (td)

$$td = V \times Q$$

Keterangan:

V = volume bak ekualisasi (m^3)

Q = debit air yang dipompa

td = waktu tinggal (m^3/detik)

- Kecepatan aliran (v)

$$v = A \times H$$

Keterangan:

A = luas permukaan (m^2)

H = kedalaman air (m)

v = kecepatan aliran (m^3)

- Dimensi bak ekualisasi

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

Keterangan:

P = panjang bak (m)

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak (m)

V = volume bak (m^3)

- Kedalaman total (H_{total})

$$H_{total} = H + (fb \times H) + H \text{ ruang lumpur}$$
 Keterangan:
 H = ketinggian bak (m)
 fb = freeboard
- Jari-jari hidraulis

$$R = \frac{w \times H}{w \times 2H}$$
 Keterangan:
 W = lebar bak (m)
 H = tinggi bak (m)
 R = jari-jari (m)
- Pipa inlet

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$
 Keterangan:
 d = diameter pipa (m)
- Kecepatan aliran pipa inlet

$$v = \frac{Q}{A}$$
 Keterangan:
 A = luas bak (m^2)
 Q = debit air
- Pipa outlet

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$
 Keterangan:
 d = diameter pipa (m)
- Kecepatan aliran pipa outlet

$$v = \frac{Q}{A}$$
 Keterangan:
 A = luas bak (m^2)
 Q = debit air

- Headloss

Headloss mayor

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

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

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

Sedangkan 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 2.7 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, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan air buangan
Posite Displacement	Screw	<ul style="list-style-type: none"> • Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua • Air limbah pertama • Lumpur Kasar

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
	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 dengan skala kecil

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

e. Bak 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 di antara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas bufer yang terjadi karena ada produk CO₂ dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam. Terdapat beberapa cara menetralkan kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti (Reynolds & Richards, 1996):

1. Pencampuran limbah asam dengan basa dengan komposisi yang sesuai
2. Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur
3. Penambahan NaOH, Na₂CO₃, atau NH₄OH ke limbah asam
4. Penambahan asam kuat (H₂SO₄, HCl) ke dalam limbah basa
5. Pembangkitan CO₂ dalam limbah basa

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

A. Bak Pembubuh

- Dosis NaOH

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

- Kebutuhan NaOH

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

- Kebutuhan air pelarut

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

- Volume total

$$V_{\text{total}} = Q_{\text{total}} \times t_d$$

Keterangan:

Q = debit air

Td = waktu detensi

- Dimensi tangki

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

Keterangan:

d = diameter tangki

h = tinggi tangki

- Suplai tenaga ke air

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Diameter *impeller*

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

- Lebar *impeller*

$$W_i = \frac{1}{10} \times D_i$$

- Cek bilangan Reynold

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

Keterangan:

Di = diameter impeller

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

B. Bak Netralisasi

- Volume tangki netralisasi

$$V = Q \times td$$

$$V_{total} = V_{air} + V_{Pembubuh}$$

- Dimensi tangki netralisasi

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

Keterangan:

d = diameter tangki

h = tinggi tangki

$$H_{total} = H + Freeboard$$

- Suplai tenaga ke air

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Cek Diameter

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

Keterangan:

Di = diameter impeller

D = diameter tangki

- Menghitung ukuran baffle pada tangki

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

- Cek nilai bilangan Reynold (Nre)

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

Keterangan:

Di = diameter impeller

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

- Luas penampang pipa

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

Keterangan:

Q = debit air

V = volume tangki

- Diameter pipa outlet

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

- Cek kecepatan pipa outlet

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

Keterangan:

Q = debit air

A = luas

C. Dosing Pump

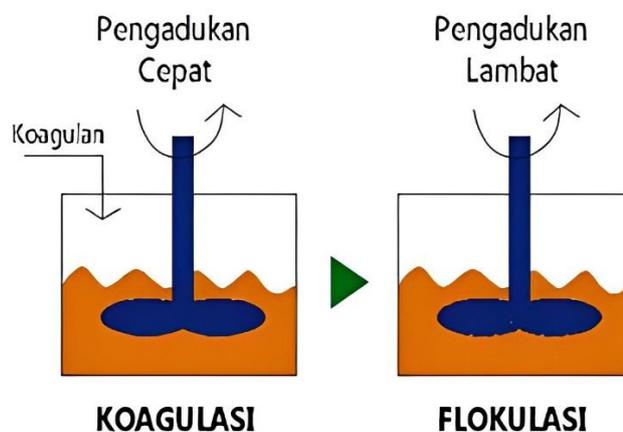
- Debit dosing pump (Q) = debit pembubuh
- Debit pembubuhan = $Q_{\text{pembubuhan}}$

2.3.2 Pengolahan Primer (*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. Unit proses pengolahannya meliputi:

a. Koagulasi - Flokulasi

Proses koagulasi dan flokulasi melibatkan penambahan bahan kimia ke dalam air baku atau air limbah untuk membentuk flok dan menyatukannya dengan partikel tersuspensi, sehingga dapat mengendap. Koagulasi melibatkan pengadukan cepat dengan koagulan untuk menghasilkan destabilisasi koloid dan suspended solid, sehingga membentuk partikel yang stabil. Sedangkan flokulasi melibatkan pengadukan lambat untuk mengumpulkan partikel yang stabil dan mengendapkannya pada bak sedimentasi.



Gambar 2.8 Koagulasi dan Flokulasi

(Sumber : <https://www.temukanpengertian.com/2015/05/pengertian-metode-desinfeksi.html>)

Ketika memasuki proses koagulasi, terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & Assomadi, 2016). Bila koagulan ditambahkan ke dalam air, reaksi yang terjadi antara lain:

- Pengurangan zeta potensial (potensial elektrostatis) hingga suatu titik dimana gaya van der Waals dan agitasi yang diberikan menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung serta membentuk flok
- Agregasi partikel melalui rangkaian inter partikulat antara grup-grup reaktif pada koloid
- Penangkapan partikel koloid negatif oleh flok-flok hidroksida yang mengendap.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi antara lain:

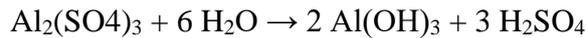
- Kualitas air meliputi gas-gas terlarut, warna, kekeruhan, rasa, bau, dan kesadahan
- Jumlah dan karakteristik koloid
- Derajat keasaman air (pH)
- Pengadukan cepat, dan kecepatan paddle
- Temperatur air
- Alkalinitas air, bila terlalu rendah ditambah dengan pembubuhan kapur
- Karakteristik ion-ion dalam air.

Bahan kimia koagulan diperlukan untuk membantu mengendapkan partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya melalui gaya gravitasi. Salah satu cara menghilangkan kekeruhan dan warna dalam air limbah adalah dengan menambahkan koagulan atau bahan kimia lainnya. Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat, dimana koagulan ditambahkan pada bak pengaduk cepat dan pada bak pengaduk lambat terjadi pembentukan flok yang lebih besar untuk memudahkan pengendapan pada bak sedimentasi. Beberapa jenis koagulan yang umum digunakan meliputi:

1. Koagulan Aluminium Sulfat (Alum) – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$

Aluminium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan ini biasanya disebut tawas, bahan ini dipakai karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Koagulan ini membutuhkan kehadiran alkalinitas dalam air untuk membentuk flok. Dalam reaksi koagulasi, flok alum dituliskan sebagai $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Mekanisme koagulasi ditentukan oleh pH, konsentrasi koagulan dan konsentrasi koloid. Koagulan dapat menurunkan pH dan alkalinitas karbonat. Rentang pH agar koagulasi dapat berjalan dengan baik antara 4,5 – 7 (Eckenfelder, 2000). Adapun reaksi dasarnya adalah sebagai berikut.



2. Koagulan Ferric Chloride ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Dalam pengolahan air penggunaannya terbatas karena bersifat korosif dan tidak tahan untuk penyimpanan yang terlalu lama.

3. Koagulan Ferrous Sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

Dikenal sebagai Copperas, bentuk umumnya adalah granular. Ferrous Sulfate dan lime sangat efektif untuk proses penjernihan air dengan pH tinggi ($\text{pH} > 10$)

4. Koagulan Chlorinated Copperas ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$), $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Dibuat dengan menambahkan klorin untuk mengoksidasi Ferrous Sulfate. Keuntungan penggunaan koagulan ini adalah dapat bekerja pada jangkauan pH 4,8 hingga 11.

5. Koagulan Sodium Aluminate (NaAlO_2)

Digunakan dalam kondisi khusus karena harganya yang relatif mahal. Biasanya digunakan sebagai koagulan sekunder untuk menghilangkan warna dan dalam proses pelunakan air dengan lime soda ash

6. Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC)

Polimer aluminium merupakan jenis baru sebagai hasil riset dan pengembangan teknologi air sebagai dasarnya adalah aluminium yang berhubungan dengan unsur lain membentuk unit berulang dalam suatu ikatan rantai molekul yang cukup panjang, pada PAC unit berulangnya adalah Al-OH.

PAC menggabungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel-partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung efisien. Namun

terdapat kendala dalam menggunakan PAC sebagai koagulan aids yaitu perlu pengarahannya dalam pemakaiannya karena bersifat higroskopis.

Pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan pada proses koagulasi dan flokulasi. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Berikut ini adalah penjelasannya :

a. Pengadukan cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Masduqi & Assomadi, 2016). Waktu pengadukan cepat dari 20 - 60 detik, dengan gradien kecepatan 700 – 1000 /detik. Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan baffle basins (Reynolds & Richards, 1996).

b. Pengadukan lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar (Masduqi & Assomadi, 2016). Waktu pengadukan lambat dari 15 - 30 menit, dengan gradien kecepatan 20 -70 /detik. Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik dan pengadukan hidrolis (Reynolds & Richards, 1996).

c. Pengadukan mekanis

Pengadukan mekanis adalah metoda pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam impeller, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling - baling).

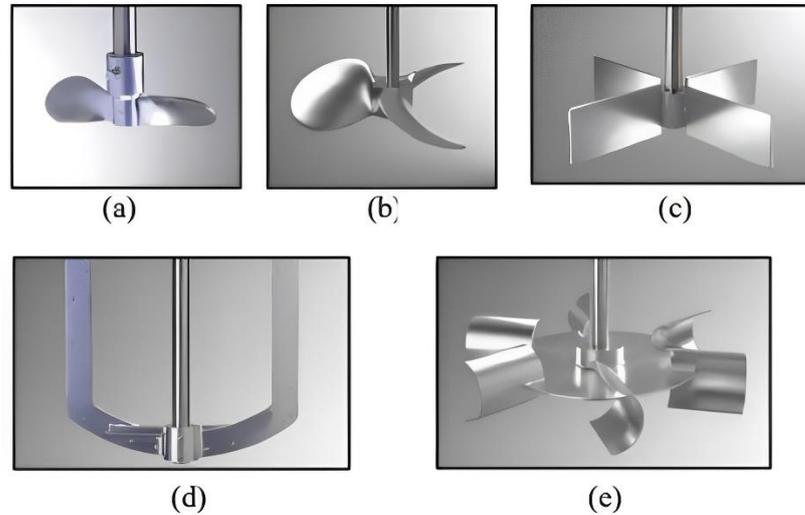
Power yang dihasilkan dari berbagai impeller dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan yang di kembangkan oleh Rushton. Daya tangki tidak sama, sesuai dengan nilai konstanta impeller, KT dan KL

Tabel 2.8 Konstanta KT dan KL

Jenis impeller	KT	KL
<i>Propeller, pitch of 1, 3 blades</i>	41,0	0,32
<i>Propeller, pitch of 2, 3 blades</i>	43,5	1,00
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	60,0	5,31
<i>Turbine, 6 flat blades, vaned disc</i>	65,0	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70,0	4,80
<i>Fan turbine, 6 blades at 45°</i>	70,0	1,65
<i>Shroude turbine, 6 curved blades</i>	97,5	1,08
<i>Shroude turbine, eith stator, no baffles</i>	172,5	1,12
<i>Flat paddles, 2 blades (single paddle), Di/Wi = 4</i>	43,0	2,25
<i>Flats paddles, 2 blades, Di/Wi = 6</i>	36,5	1,70
<i>Flats paddles, 2 blades, Di/Wi = 8</i>	33,0	1,15
<i>Flats paddles, 4 blades, Di/Wi = 6</i>	49,0	2,75
<i>Flats paddles, 6 blades, Di/Wi = 8</i>	71,0	3,82

(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:188))

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



Gambar 2.9 (a) 2 blade impeller (b) 3 blade impeller (c) 4 blade impeller
(d) Anchor Type Impeller (e) Agitator Impeller

(Sumber: <https://www.directindustry.com/prod/lightnin/product-24564-%2059977.html>)

Tabel 2.9 Kriteria Perencanaan Unit Koagulasi-Flokulasi

Parameter	Besar satuan	Sumber
Waktu tinggal di dalam bak (td)	20 – 60 detik	Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 182
Gradien kecepatan (G)	700 – 1000 / detik	
Diameter paddle (Di)	50 – 80% diameter bak	Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 185
Lebar paddle (Wi)	1/6 – 1/10 diameter paddle	
Kecepatan putaran paddle (n)	20 -150 rpm	
Kedalaman bak (H)	1 – 1,25 diameter	Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003.

Parameter	Besar satuan	Sumber
Jarak paddle dari dasar	30-50% D	Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 184
Reynold number (N _{RE})	>10.000	Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 187

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018 Halaman 41)

Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan unit koagulasi-flokulasi adalah sebagai berikut :

A. Bak Pembubuh Koagulan

- **Kebutuhan Koagulan Harian**

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{Dosis koagulan} \times Q$$

Keterangan:

Kebutuhan koagulan = Jumlah koagulan dibutuhkan (kg/hari)

Dosis koagulan : Dosis optimum koagulan (mg/L)

Q = Debit air limbah (m³/detik)

- **Debit koagulan per hari**

$$Q = \frac{\text{Kebutuhan koagulan}}{\rho \text{ Koagulan}} \times \text{td}$$

Keterangan:

Q = Debit koagulan (L/hari)

Kebutuhan koagulan = Jumlah koagulan dibutuhkan perhari (kg/hari)

ρ koagulan = Massa jenis koagulan (kg/L)

td = Periode / lama pelarutan (hari)

- **Debit air pelarut**

$$Q \text{ pelarut} = \frac{100 - \% \text{pelarutan}}{\% \text{pelarutan}} \times Q \text{ koagulan}$$

Keterangan:

Q air pelarut = Air yang dibutuhkan melarutkan koagulan (m³/hari)

Kadar air pelarut = Persen kandungan air dalam larutan

Q koagulan : Debit koagulan per hari (m³/hari)

- **Total debit tangki pembunuh**

$$Q \text{ Total} = Q \text{ Koagulan} + Q \text{ air pelarut}$$

Keterangan:

Q koagulan = Volume koagulan per hari (m³/hari)

Q pelarut = Volume air pelarut per hari (m³/hari)

- **Volume tangki pembunuh (pembubuhan dilakukan 1 hari)**

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

Keterangan:

Q total = Debit total tangki pembunuh (m³ /hari)

td = Periode / lama pelarutan (hari)

- **Kedalaman air pada bak pembunuh**

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

Keterangan:

V = Volume tangki pembunuh (m³)

D = Diameter tangki pembunuh (m)

H air : Kedalaman air dalam bak pembunuh (m)

- **Supply tenaga ke air/ daya pengaduk**

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

P = Supply tenaga ke air (Watt)

G = Gradien kecepatan (L/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak pembunuh (m³)

- **Diameter impeller**

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

Keterangan:

P = Supply tenaga ke air (Watt)

KT = Konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

η = Kecepatan putaran (rps)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

- **Jarak impeller dengan dasar (Hi)**

$$H_i = \% \times D_i$$

Keterangan:

H_i = Jarak impeller dengan dasar (m)

D_i = Diameter impeller

% = Persentase diameter (30 – 50% D_i)

- **Cek diameter impeller**

$$\text{Cek D} = \frac{\text{Diameter Impeller}}{\text{Diameter Tangki}} \times 100\%$$

Keterangan:

D impeller = Diameter impeller tangki (m)

D tangki = Diameter tangki (m)

Cek D harus memenuhi range 30-50%

- **Lebar Impeller**

$$W_i = \frac{1}{x} \times D.\text{Tangki}$$

Keterangan:

W_i = Lebar impeller (m)

D.Tangki = Diameter tangki (m)

Lebar impeller = 1/6 – 1/10

- **Cek bilangan Reynold**

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 \times n \times \rho \text{ air}}{\mu}$$

Keterangan:

N_{re} = bilangan Reynold

D_i = Diameter impeller/pengaduk (m)

η = Kecepatan putaran (rps)

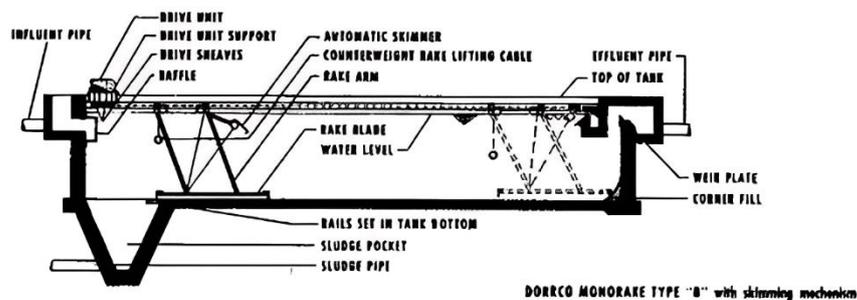
ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

μ = Viskositas absolut (N.s/m^2)

b. Sedimentasi II

Unit sedimentasi primer memiliki tujuan untuk menghilangkan zat padat yang tersuspensi. Partikel tertentu, seperti padatan limbah tebu, tekstil, pulp, atau domestik akan menggumpal pada saat partikel tersebut menuju dasar tangki sedimentasi, sehingga memengaruhi laju pengendapan. Tujuan utama dari sedimentasi primer adalah untuk menghilangkan *settleable solid* dan material yang mudah mengambang, dengan demikian akan mengurangi kandungan padatan tersuspensi pada air limbah. Sedimentasi primer digunakan sebagai Langkah awal dalam pengolahan lebih lanjut dari air limbah. Rancangan dan pengoperasian yang efisien dari tangki sedimentasi primer harus menghilangkan 50 hingga 70 persen padatan tersuspensi dan 25 hingga 40 persen BOD (Reynolds & Richards, 1996).

Tangki sedimentasi juga telah digunakan sebagai tangki retensi, dirancang untuk memberikan waktu detensi sedang (10 sampai 30 menit) untuk overflow air limbah. Efisiensi bak sedimentasi dalam penghilangan parameter BOD dan TSS dipengaruhi oleh: (1) jenis aliran yang masuk ke dalam tangki sedimentasi; (2) ukuran partikel, bentuk partikel, dan konsentrasi partikel; (3) viskositas air limbah pada saat masuk ke dalam bak sedimentasi; (4) temperatur air limbah dan lingkungan (Metcalf & Eddy et al., 2007). Unit pengolahan ini memiliki efisiensi penyisihan berkisar 50-70% untuk TSS (Qasim & Zhu, 2017) dan 25-40% BOD₅ (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 3.0 Unit sedimentasi tipe II

(Sumber: Metcalf & Eddy 4th Edition., 2003)

Terdapat 3 (tiga) unit pengendap/sedimentasi yang biasa digunakan dalam pengolahan air, antara lain:

1. *Horizontal flow* (aliran horizontal), umumnya dalam bentuk persegi panjang
2. *Radial flow* (aliran radial), yaitu bak sirkular, air mengalir dari tengah menuju pinggir
3. *Upward flow* (aliran ke atas), yaitu aliran dari bawah ke atas, biasanya dalam bak berbentuk kerucut yang menghadap ke atas.

Dalam perencanaan bak pengendap pertama, terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang perlu diperhatikan. Komponen pendukung yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan antara lain: (a) Skimmer, digunakan untuk memisahkan minyak dan lemak yang terapung di atas permukaan dan dialirkan ke saluran khusus untuk dibuang, (b) Scrapper sludge, digunakan untuk mengumpulkan lumpur di dasar bak pengendapan menuju titik pembuangan dengan menggunakan pompa atau secara manual dengan gravitasi, (c) Pompa lumpur, digunakan untuk memompa keluar lumpur menuju pengolahan lumpur, dan (d) Weir atau pelimpah, digunakan untuk mengalirkan air permukaan atau overflow yang telah melalui proses sedimentasi. Kriteria desain perencanaan dari bak pengendapan harus memenuhi standar internasional seperti yang dijelaskan oleh Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR (2018), dan perhitungannya sama seperti bak pengendap awal.

Tabel 3.0 Kriteria Perencanaan Unit Sedimentasi II

Parameter	Simbol	Satuan	Besaran	Sumber
Overflow rate: Debit rata-rata Debit Puncak	Q _R	30 – 50 70 – 130	m ³ /m ² .hari	(Qasim & Zhu, 2017)
Waktu Detensi		1 – 2 1,5 – 2,5		

Parameter	Simbol	Satuan	Besaran	Sumber
Beban Permukaan	-	124 – 496	m ³ /m ² .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 – 5D		
Rasio P dan T	-	4-2-25		
Bentuk Lingkaran (Circular)				(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Diameter	d	3 - 60	m	
Kedalaman	h	50 – 70	m	
Penyisihan TSS	-	50 – 70	%	
Penyisihan BOD	-	50 – 80	%	
Kemiringan Dasar	Slope	1 - 2	%	

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018 Halaman 41)

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

A. Zona Settling Sedimentasi

- Q_{in} pada bak sedimentasi II

$$Q_{in} = Q_o + Q_r$$

- Luas *Surface Area* (A)

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

Keterangan:

Q = debit air limbah (m³/hari)

OR = Overflow rate/hari (m³/m².hari)

- Diameter (D)

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

- Cek luas *Surface Area*

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

- Kedalaman bak (H)

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

Keterangan:

Q_{in} = debit awal

t_d = waktu detensi

A = luas zona

- Cek Overflow rate

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

Keterangan:

Q_{in} = debit awal

A = luas zona

- Volume bak

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

- Cek waktu tinggal (td)

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

- Kecepatan pengendapan partikel (V_s)

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

Keterangan:

H = tinggi zona

t_d = waktu detensi

- Diameter partikel

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

- Cek bilangan Nre untuk Vs

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

- Kecepatan horizontal di bak (Vh)

$$Vh = \frac{Qin}{\pi \times D \times H}$$

Keterangan:

Qin = debit awal

D = diameter bak

H = tinggi bak

- Jari-jari hidraulis (R)

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

Keterangan:

r = jari-jari bak

H = tinggi bak

- Cek bilangan Froude (NFr)

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

Keterangan:

Vh = kecepatan horizontal

H = tinggi bak

g = gravitasi

- Cek bilangan Reynold (NRe)

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

Keterangan:

Vh = kecepatan horizontal

R = viskositas kinematic

v = kecepatan aliran

- Cek kecepatan penggerusan (vsc)

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

B. Zona Inlet Sedimentasi

- Diameter *inlet well* (D')
- Perhitungan pipa inlet
- Cek kecepatan pipa inlet

C. Zona Thickening Sedimentasi

- Total massa solid dalam bak biofilter anaerobik-aerobik
Massa solid total = MLVSS x Volume lumpur Biofilter
- Total massa solid bak sedimentasi akhir (*clarifier*)
P = % Biological yang tetap dalam biofilter anaerobik – aerobik
- Kedalaman zona thickening

$$H = \frac{M \text{ solid total}}{X \cdot A}$$

D. Zona Sludge Sedimentasi

- Total lumpur yang terkumpul (T_L)
T_L = P_x x Waktu Pengurasan
- Total berat lumpur pada bak (T_{LM})

$$T_{LM} = T_L + M_{\text{Solid total}}$$

Keterangan:

T_L = total lumpur yang terkumpul

- Volume lumpur pada bak (V_L)

$$V_L = \frac{T_{LM}}{\rho S}$$

Keterangan:

T_{LM} = total berat lumpur pada bak

- Debit lumpur (Q_L)

$$Q_L = \frac{V_L}{\text{Waktu pengurasan}}$$

Keterangan:

V_L = volume lumpur

- Volume air

$$\text{Vol. Air} = 95\% \times V_L$$

Keterangan:

V_L = volume lumpur

- Berat air

Berat air = Vol.air x Berat jenis air

- Volume solid

Vol.Solid = 5% x V_L

Keterangan:

V_L = volume lumpur

- Berat solid

Berat solid = Vol.Solid x Berat jenis solid

- Dimensi ruang lumpur

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

- Kedalaman total sedimentasi (*clarifier*)

$H_{Total} = H_{Settling} + H_{Thickening} + H_{Sludge}$

- Perhitungan Headloss Pompa

Perhitungan Suction

Headloss mayor:

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

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

Headloss minor:

$$H_f = n \times k \times \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

Perhitungan Discharge

Headloss mayor:

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

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

Headloss minor:

$$H_f = n \times k \times \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

Perhitungan Head total pompa

H = H_f suction total + H_f discharge total

Perhitungan head total

H total = Head statis + ΣH_f suction + ΣH_f discharge

E. Zona Outlet Sedimentasi

- Panjang keliling *weir*

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

- Jumlah V Notch setiap pelimpahan (*weir*)

n Notch = Panjang keliling/jarak antar V notch

- Tinggi pelimpah setelah melalui V-notch

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

- Luas permukaan saluran pelimpah

$A = Q_{in}/v$

Keterangan:

Q_{in} = debit awal

v = kecepatan saluran

- Dimensi saluran pelimpah

$$A = 2H \times H$$

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

$$B = 2 \times H$$

Keterangan:

H = tinggi saluran

F. Pipa Outlet Sedimentasi

- Luas penampang pipa

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

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran pipa

- Diameter pipa outlet

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

Keterangan:

A = luas bak

- Cek kecepatan pipa outlet

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

Keterangan:

Q = debit air

A = luas penampang pipa

- Headloss mayor (Hf mayor)

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

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

- Headloss minor (Hf minor)

$$H_f = n \times k \times \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- Headloss total (H_f total)

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

2.3.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Air limbah umumnya mengandung polutan organik yang berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Penguraian senyawa organik pada air limbah sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme sehingga disebut dengan proses biologis. Tujuan dari pengolahan biologis pada air limbah adalah sebagai berikut; (1) mengubah (mengoksidasi) konstituen biodegradable terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima; (2) menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan nonsettleable menjadi flok biologis atau biofilm; (3) mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan fosfor (P), dan (5) menghilangkan konstituen dan senyawa kecil organik tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007).

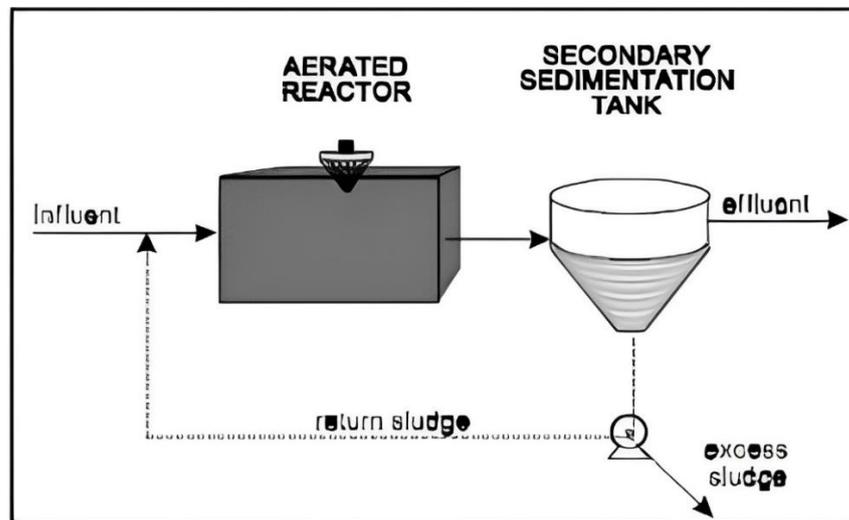
Dengan memanfaatkan proses biologis, pengolahan sekunder dapat memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut. Proses biologis ini dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobik dan mampu mengurangi BOD hingga 60 - 90% serta TSS hingga 40 - 90% (Qasim & Zhu, 2017). Untuk menghilangkan partikulat dan BOD karbon terlarut serta memperbaiki materi organik dalam air limbah, berbagai jenis mikroorganisme terutama bakteri digunakan dalam pengolahan biologis.

a. **Activated Sludge (ASR)**

Lumpur aktif (activated sludge) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi, pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO_2 dan H_2O , NH_4 , dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa

blower (*diffused*) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.

Sistem pengolahan lumpur aktif merupakan metode pengolahan yang menggunakan bakteri aerobik yang dipelihara dalam tangki aerasi, dengan tujuan mengurangi konsentrasi organik karbon atau nitrogen organik. Bakteri heterotrof bertanggung jawab dalam menurunkan konsentrasi organik, dengan menggunakan senyawa organik sebagai sumber energi dan sumber karbon. Substrat atau konsentrasi organik karbon diukur menggunakan BOD dan COD sebagai satuan ukuran.



Gambar 3.1 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

(Sumber: Sperling, 2007)

Adapun jenis 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.

- *Step aeration*

Merupakan tipe plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju outlet. Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik ditangi aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan

oksigen titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.

- *Tapered aeration*

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

- Contact Stabilization

Contact tank yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif. Reaeration tank yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengasorb (proses stabilisasi).

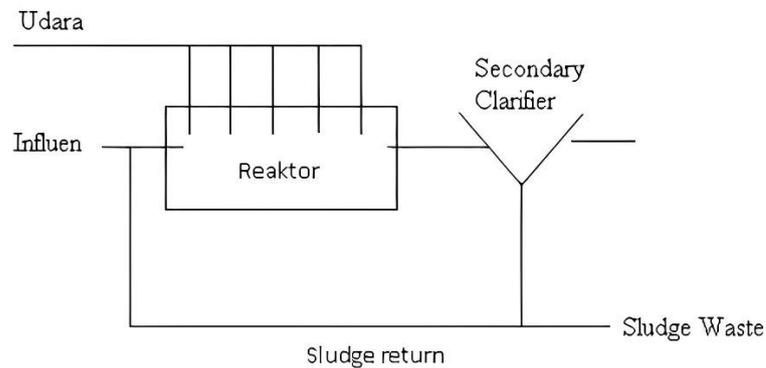
- Oxidation Ditch

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

Parameter penting dalam desain activated sludge antara lain:

- F/M ratio, merupakan perbandingan antara substrat (food) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat (BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.
- Rasio resirkular (R), merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis activated sludge yang digunakan.
- Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C_0).
- Waktu detensi (td), adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi.

Pada sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, secondary clarifier dan recycle sludge. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi dan oksidasi bahan organik. Air limbah dan lumpur recycle dari clarifier masuk pada awal reaktor.



Gambar 3.2 Lumpur aktif sistem konvensional

(Sumber: WWTP,Planing. Desing and operation, syed Qasim hal. 52)

Activated sludge merupakan metode yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Mikroorganisme sendiri selain menguraikan dan menghilangkan kandungan material, juga menjadikan material yang terurai tadi sebagai tempat berkembang biaknya.

Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Tetapi jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya operasi sistem ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu.

Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit activated sludge yaitu untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah Sedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 dan H_2O , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi (Sperling, 2007).

Pada kondisi aerobik, proses penghilangan amonia terjadi proses nitrifikasi, yaitu nitrogen amonium diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3$) dan pada kondisi anaerobik terjadi proses denitrifikasi yaitu nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$) (Said, 2017).

Senyawa fenol merupakan senyawa organik yang potensial untuk didegradasi secara oksidasi. Bakteri yang mampu mendegradasi fenol antara lain *Pseudomonas* sp., *Acinetobacter* sp., dan *Arthrobacter* sp. Selain itu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bakteri *Serratia* sp. juga mampu mendegradasi senyawa fenol yang terkandung dalam limbah industri. Semakin besar konsentrasi MLSS, semakin besar penurunan fenol. Semakin besar konsentrasi MLSS berarti semakin banyak jumlah mikroba yang memanfaatkan fenol sebagai sumber makanan dan mendegradasi fenol tersebut sehingga penurunan fenol semakin besar (Cho et al., 2000).

Berikut merupakan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit Activated Sludge:

- Waktu detensi bak Activated Sludge (td)

$$F/M = \frac{c\alpha}{\theta c \times X}$$

Keterangan:

f/m = Rasio f/m (hari)

c = Waktu detensi (detik)

X = MLSS (mg/L)

- Volume reaktor

$$V_r = Q_{in} (1 + \theta)$$

Keterangan:

V_r = Volume reaktor (m³)

Q_{in} = Debit masuk (m³ /hari)

θ = Waktu detensi (detik)

- Volume bak

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

V = Volume (m³)

L = Panjang bak (m)

B = Lebar bak (m)

H = Tinggi bak (m)

- Partikulat BOD di Effluent

$$\text{BOD Partikulat} = \frac{\text{VSS}}{\text{SS}} \times \text{fb}$$

Keterangan:

fb = Biodegradable Fraction of VSS

BOD Partikulat = Partikulat BOD di Effluent (mg BOD/mg SS)

- BOD yang teremoval

$$\text{BOD Removal} = \text{BOD influent (Co)} \times \% \text{ removal}$$

Keterangan:

Co = BOD influent (mg/L)

% removal = Kemampuan meremoval unit

- BOD yang lolos

$$\text{Cr} = \text{Co} - \text{BOD teremoval}$$

Keterangan:

Co = BOD Influent(mg/l)

Cr = BOD effluent (mg/l)

- Debit Resirkulasi (Qr)

$$\text{Qr} = \text{Qo} \times \text{R}$$

Keterangan:

Qr = Debit resirkulasi (m³/s)

R = Ratio resirkulasi

Qo = Debit per unit (m³/s)

- Debit yang masuk ke bak AS (Qin)

$$\text{Qin} = \text{Qo} + \text{Qr}$$

Keterangan:

Qin = Debit yang masuk ke bak AS (m³/hari)

Qo = Debit per unit (m³/s)

Qr = Debit resirkulasi (m³/s)

- Volume Reaktor

$$\text{V} = \frac{Y \times \theta \times Q (S_0 - S)}{X_v \times (1 + Fb) \times K_d \times \theta_C}$$

Keterangan:

V_r = Volume reaktor (m^3)

θ_c = Umur lumpur (hari)

Q_r = Debit resirkulasi (m^3/s)

Y = Koefisien batas pertumbuhan ($mg.Vss/mg.BOD$)

S_i = Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/m^3)

S_e = BOD terlarut dari effluent (mg/L)

X_v = MLSS (mg/L)

F_b = Biodegradable Fraction of VSS

K_d = Koefisien Endogeneous (hari)

- Konsentrasi resirkulasi

$$X_R = \frac{X \times (1+R)}{R}$$

Keterangan:

X_r = konsentrasi resirkulasi

X_x = konsentrasi MLSS ($mgVSS/L$)

R = rasio resirkulasi

- Kuantitas lumpur yang dihasilkan setiap hari (γ_{obs})

$$Y_{obs} = \frac{Y}{(1+f_b) \times K_d \times \theta_c}$$

Keterangan:

Y_{obs} = Kuantitas lumpur tiap hari ($mg.Vss/mg.BOD$)

Y = Koefisien batas pertumbuhan ($mg.Vss/mg.BOD$)

K_d = Koefisien Endogeneous (hari)

θ_c = umur lumpur (hari)

- Kontrol F/M rasio

$$F/M = \frac{S_{in} \times S_0}{Vol. \times X_v}$$

Keterangan:

F/M = F/M ratio (/hari)

Q_{in} = Debit per unit (m^3/s)

S_0 = Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/m^3)

Vol = Volume reaktor (m^3)

$$X_v = \text{MLVSS (kg/m}^3\text{)}$$

- Kebutuhan Oksigen Total

$$\text{Kebutuhan O}_2 = \frac{1,46 \times Q_{in} (C_o - C_R)}{10^3}$$

Keterangan:

Q_{in} = Debit influent (m^3/s)

C_o = BOD influent (mg/l)

C_r = BOD effluent (mg/l)

- Kebutuhan Power Aerator

$$P = \frac{\text{Kebutuhan O}_2}{\text{Standart Oxygen Efficiency}}$$

Keterangan:

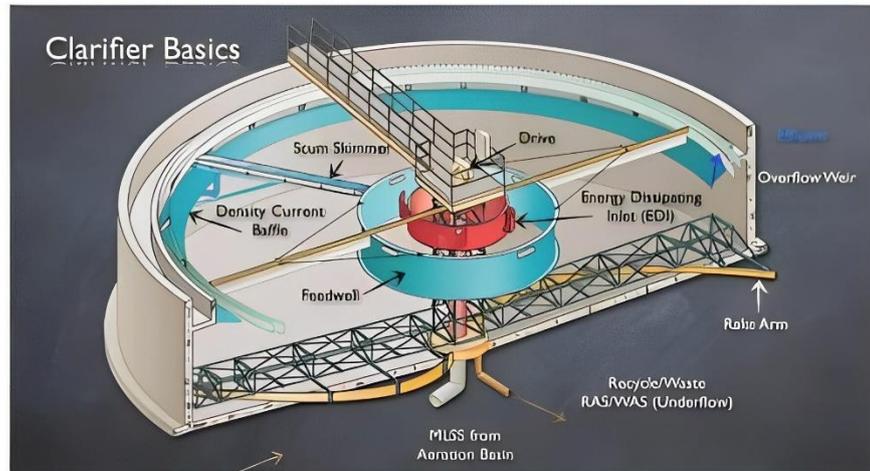
P = Kebutuhan power aerator

Standard efisiensi oksigen = 1,8 kg $\text{O}_2/\text{kW.jam}$

b. Clarifier

Clarifier adalah pengolahan lanjutan dari pengolahan terdahulu jika banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah khusus, seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri patogen lainnya. Clarifier sama dengan bak pengendap pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Bangunan clarifier 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 ditengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.



Gambar 3.3 Unit Clarifier

(Sumber: <https://www.anakteknik.co.id/chandra25/articles/apa-itu-unit-water-treatment-plant-dan-demineralizer>)

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 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.

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

- Diameter Bak

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

Keterangan:

D = Diameter bak (m)

A = Luas area surface (m²)

- Kedalaman bak

$$H = \frac{Q \times td}{A}$$

Keterangan:

Q = Debit masuk (m^3/hari)

T_d = Waktu detensi (detik)

A = Luas area surface (m^2)

- Kecepatan pengendapan partikel (v_s)

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

Keterangan:

V_s = kecepatan pengendapan (m/s)

H = tinggi clarifier (m)

T_d = waktu detensi (s)

- Diameter Partikel (D_p)

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

Keterangan:

V_s = kecepatan pengendapan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

v = viskositas kinematis (m^2/s)

S_s = specific gravity

- Kecepatan Horizontal di bak (v_h)

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

V_h = kecepatan horizontal (m/s)

Q_{in} = debit yang masuk ke clarifier (m^3/s)

D = diameter clarifier (m)

H = tinggi clarifier (m)

- MLVSS pada Clarifier

$$MLVSS_{\text{Clarifier}} = MLVSS_{\text{total}} - MLVSS_{\text{as}}$$

Keterangan:

$MLVSS_{\text{as}}$ = kebutuhan MLVSS yang tetap ada di bak activated sludge

- Massa Solid total pada Clarifier

$$M_{\text{solid total}} = MLVSS_{\text{clarifier}} \times V_{\text{clarifier}}$$

Keterangan:

M.solid total = massa solid total di clarifier

MLVSS clarifier = kebutuhan MLVSS yang ada di clarifier

2.3.4 Pengolahan Ketiga (Tertiary Treatment)

Proses ini merupakan kelanjutan dari tahapan sebelumnya, sehingga jenis pengolahan ini akan diterapkan ketika pada tahapan pengolahan awal dan kedua masih terdapat banyak zat yang berbahaya bagi masyarakat. Pengolahan ketiga ini dilakukan secara spesifik sesuai dengan kandungan zat yang paling banyak terdapat dalam air limbah, dan biasanya dilakukan di pabrik-pabrik yang memproduksi jenis air limbah khusus, seperti yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen, dan lain sebagainya.

2.3.5 Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Pengolahan ini merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah domestik. Pengolahan lumpur memiliki beberapa tujuan, yakni mengurangi kadar air, menstabilkan, serta menghilangkan mikroorganisme patogen yang berpotensi terkandung di dalam lumpur. Hal ini dilakukan agar lumpur yang telah diproses dapat lebih aman ketika dibuang atau dimanfaatkan untuk keperluan terbatas. Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena berikut ini: (Metcalf & Eddy et al., 2007)

1. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab untuk menimbulkan bau.
2. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik
3. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0.25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah untuk mereduksi kadar lumpur, dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti

pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Adapun unit pengolahan lumpur diantaranya adalah *sludge drying bed*. Unit ini merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari. Adapun beberapa teknologi dalam pengolahan lumpur antara lain sebagai berikut:

A. Sludge Thickener

Bak Pemekat Lumpur (Sludge Thickener) Sludge Thickener merupakan unit turunan dari circular clarifier. Memiliki cara kerja yang identik namun dalam perancangannya, sludge thickener di desain untuk menghasilkan sludge yang lebih pekat dengan aliran rendah. *Sludge thickener, clarifier, dan classifier* merupakan unit-unit yang digunakan dalam proses sedimentasi dan pengolahan/pemisahan lumpur, diperlukan pilot test dan uji laboratorium dalam menentukan dimensi dan juga keefektifan unit yang akan digunakan (Brazil & Summerfelt, 2006).

Tabel 3.1 Perbedaan 3 Unit dalam Thickener

Jenis unit	Parameter		Karakteristik Hasil Akhir Lumpur		
	Solid in Liquid	Liquid in Solid	Solid concentration	Solid Dense	Particel Size
Clarifier	Baik	Buruk	Rendah	Kurang padat	Halus
Classifier	Buruk	Buruk	Medium	Padat	Kasar

(Sumber: Trevi Environmental Solutions, 2014).

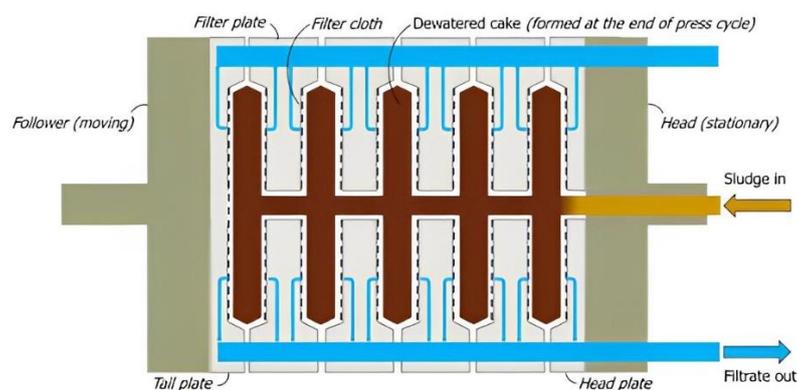
B. Sludge Digester

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

C. Filter Press

Plate dan frame filter press terdiri dari plate dan frame yang tergabung menjadi satu dengan kain saring pada tiap sisi plate. Plate memiliki saluran sehingga filtrat jernih dapat melewati tiap plate. *Slurry* dipompa menuju plate dan frame menggunakan tekanan 350-1575 kN/m² (50-225 psi) (Qasim, 1985) dan mengalir melalui saluran pada frame sehingga slurry memenuhi frame. Filtrat mengalir melalui kain saring dan padatan menumpuk dalam bentuk cake pada kain saring. Proses tersebut memakan waktu 20-30 menit. Filtrat mengalir antara kain saring dan plate melalui saluran keluar.

Proses penyaringan terus berlangsung sampai bahan padat mengisi setiap bingkai. Menurut Qasim (1985), waktu yang dibutuhkan dalam proses penyaringan ini berkisar antara 1 hingga 4 jam. Kebanyakan filter dilengkapi dengan saluran pembuangan terpisah untuk setiap bingkai sehingga memudahkan untuk mengecek apakah filtratnya jernih atau tidak. Jika filtratnya tidak jernih, bisa jadi penyebabnya adalah kerusakan pada kain penyaring atau hal lainnya. Setelah bingkai dan pelat dipisahkan dan cake dihilangkan, filter dipasang kembali dan digunakan. Filter press terdiri dari beberapa jenis, seperti *washing*, *non washing*, *open delivery*, dan *closed delivery*. Filter kain menutupi setiap sisi dari setiap pelat, kemudian disatukan dengan tenaga mekanik menggunakan screw atau hidrolis.



Gambar 3.4 *Filter Belt Press*

(Sumber:

<https://www.sludgeprocessing.com/transforms/teaserimages/22721>)

D. Sludge Drying Bed

Prinsip bak pengering lumpur yaitu mengeluarkan air lumpur melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa dilakukan proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan bak pengering lumpur. Bak pengering berupa bak dangkal yang berisi media penyaring pasir, batu kerikil sebagai penyangga pasir serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar dibuat saluran pembuangan air dan di atasnya diberi lapisan kerikil dan lapisan pasir kasar. Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengering alami dengan matahari, maka air akan berkurang melalui saringan dan proses penguapan. Kelebihan bak pengering lumpur adalah sistem operasi yang mudah dan sederhana serta biaya operasional rendah. Kelemahan bak pengering lumpur adalah membutuhkan lahan yang cukup luas dan sangat bergantung dengan cuaca (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

Tabel 3.2 Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
Tebal pasir	23 – 30	cm	Qasim, 1985
Tebal kerikil	20 - 30	cm	
Sludge loading rate	100 - 300	kg/m ² .tahun	
Tebal bed	20 - 30	cm	
Lebar bed	5 – 8	m	
Panjang bed	6 – 30	m	
Waktu pengeringan	10 - 15	hari	
Uniformity Coefficient	<4		

Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
Effective size	0,3 – 0,75	mm	
V air dalam inlet	0,75	m/detik	
V air dalam drain	0,75	m/detik	
Tebal lumpur	200 – 300	mm	
Kecepatan Pipa Underdrain	0,75	m/detik	Metcalf & Eddy 4th Edition., 2003
Koef. Keseragaman	<4	-	
Ukuran Efektif	0,3 – 0,785	%	
Slope	>1	%	
Rasio lebar : panjang	6 : 6 – 30	-	

(Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018)

Adapun rumus yang digunakan pada unit pengolahan Sludge Drying Bed (SDB) adalah sebagai berikut:

- Tebal media

Tebal media = Tebal pasi + Tebal kerikil + Tebal *cake*

- Volume *cake sludge*

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

Keterangan:

P = kadar air

P_i = berat air dalam *cake* (60 – 70%)

- Volume bed

V = V_i x t_d

Keterangan:

V_i = volume *cake sludge* (m³)

T_d = waktu detensi (detik)

- Volume tiap bed

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

Keterangan:

V = volume bed (m³)

- Dimensi tiap bed

$$A = \frac{V}{\text{tebal cake}}$$

$$A = L \times W$$

Keterangan:

V_b = volume tiap bed (m³)

L = panjang (m)

W = lebar (m)

- Kedalaman *Underdrain*

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

Keterangan:

V_a = volume air

A = luas tiap bed

- Kedalaman total

H = Tinggi cake + Tinggi media

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

Keterangan:

H_{total} = kedalaman total bak (m)

F_b = Freeboard (10-30% kedalaman)

- Diameter pipa *Underdrain*

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

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

Keterangan:

V_a = volume air

t_d = waktu detensi

- Volume air

$$V_a = \frac{\text{volume cake sludge} - \text{volume padatan}}{\text{Jumlah bed}} \times t_d$$

Keterangan:

t_d = waktu detensi

2.4 Persen Removal

Tujuan dari proses pengolahan limbah adalah menurunkan beban pencemar pada limbah tersebut. Banyaknya penurunan beban pencemar tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Setiap bangunan memiliki kemampuan menurunkan beban pencemar yang berbeda-beda. Berdasarkan studi literature yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman (%) penyisihan untuk air limbah industri minuman ringan beserta sumber yang tertera pada tabel berikut ini:

Tabel 3.3 Persen Removal Tiap Bangunan Pengolahan

Jenis Bangunan	Parameter Teremoval	Kemampuan Removal	Sumber
Netralisasi	pH	6 - 9	Eckenfelder , W. Wesley, Jr., Industrial Water Pollution Control 2nd Edition : Hal. 82
Elektrokoagulasi	H ₂ S	96% - 98%	(Wang, Y., Lin, H., Ding, L., & Hu, B. (2020). Low-voltage electrochemical treatment to precipitate sulfide during anaerobic digestion of beet sugar wastewater. Science of the Total Environment, 747, 141243.)
	BOD	71%	(Metcalf and
Sedimentasi II	COD	72%	Eddy, Wastewater

Jenis Bangunan	Parameter Teremoval	Kemampuan Removal	Sumber
	TSS	90%	Engineering treatment and Reuse 4th Edition : Hal. 396)
Activated Sludge	BOD	75% - 85%	(Casaveno, Industrial Waste Water and Solid Waste Engineering : Hal. 15)
	COD	60% - 70%	
Anaerobic Buffle Reactor	BOD	70% - 90%	(Foxon, et al.2006. Evaluation of The Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri Urban Settlements. Final Report To The Water Research Commision.)
	COD	72% - 95%	
Clafier	TSS	85%	(Casaveno, Industrial Waste Water and Solid Waste Engineering : Hal. 15)
Aerasi	TSS	78%	(Hasan, A., & Kadarusman, H. (2022). Pengaruh aerasi terhadap pengolahan limbah cair rumah sakit dengan metode Constructed Wetland. Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan, 16(1), 41-49)

2.5 Profil Hidraulis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing-masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (headloss) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Profil hidrolis adalah faktor yang penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan/head tekan (dalam tinggi kolom air) yang tersedia bagi pengaliran. Head ini

dapat disediakan oleh beda elevasi (tinggi ke rendah) sehingga air pun akan mengalir secara gravitasi. Jika tidak terdapat beda elevasi yang memadai, maka perlu diberikan head tambahan dari luar, yaitu dengan menggunakan pompa. Hal-hal yang perlu diperhatikan sebelum membuat Profil Hidrolis yaitu:

1) Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

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

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak
- c. Kehilangan tekanan pada pintu air
- d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat dan lain-lain harus di hitung secara khusus.

2) Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan

Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.

- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris

Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S .

- c. Kehilangan tekanan pada pompa

Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya.

- d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

3) Tinggi muka air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam

pelaksanaan pembangunan sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

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