

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Tahu Kabupaten Tuban

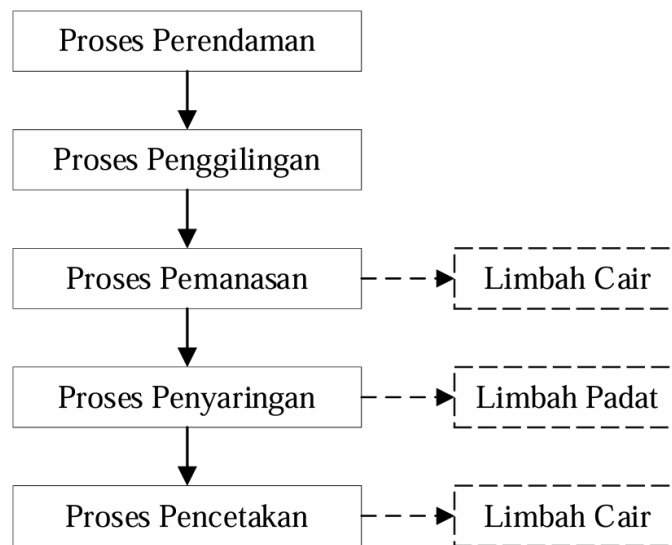
Industri tahu di Kabupaten Tuban, khususnya di Desa Kuncen dan Desa Klepek mengalami perkembangan pesat dan memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian lokal. Berdasarkan data Dinas Perindustrian dan Perdagangan, jumlah perajin tahu di daerah tersebut mencapai lebih dari 100 unit usaha kecil dan menengah yang memproduksi sekitar 1,2 ton tahu per hari. Namun, di balik kontribusinya, industri tahu juga menghadapi tantangan lingkungan serius akibat limbah cair dan padat yang dihasilkan dari proses produksi tradisional. Salah satu contohnya yaitu limbah cair yang dihasilkan memiliki kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) mencapai 2.500-3.000 mg/L yang berpotensi mencemari badan air atau lingkungan jika tidak diolah dengan baik.

2.1.1 Proses Pembuatan Tahu

Proses pembuatan tahu dimulai dengan perendaman kedelai yang merupakan langkah penting untuk memastikan kedelai menyerap air dengan optimal. Kedelai yang direndam selama beberapa jam akan menjadi lunak sehingga memudahkan proses penggilingan. Setelah perendaman, air rendaman dibuang, dan kedelai yang lunak kemudian digiling hingga halus, menghasilkan adonan kedelai. Pada tahap ini, air ditambahkan ke dalam adonan, dan campuran tersebut dipanaskan hingga mendidih selama beberapa menit. Pemanasan ini bertujuan untuk melarutkan komponen-komponen dalam kedelai dan membunuh mikroorganisme yang mungkin ada. Setelah mendidih, adonan kedelai yang panas disaring menggunakan kain saring untuk memisahkan sari kedelai dari ampas. Sisa larutan yang diperoleh dari proses penyaringan kemudian diperas dengan alat press untuk memaksimalkan pemisahan antara sari dan ampas kedelai.

Setelah proses penyaringan, tahap berikutnya adalah penggumpalan atau pengasaman. Dalam proses ini, para pengrajin biasanya menggunakan biji rennet atau zat asam seperti cuka untuk mengentalkan sari kedelai. Proses penggumpalan ini penting untuk mengubah sari kedelai yang cair menjadi bentuk yang lebih padat.

Setelah penggumpalan, adonan yang telah menggumpal kemudian dimasukkan ke dalam cetakan untuk dibentuk menjadi tahu. Tahu yang sudah dicetak kemudian dipotong sesuai ukuran yang diinginkan dan siap untuk dipasarkan. Tahap pemanasan, penyaringan, dan pencetakan adalah sumber utama limbah cair dalam produksi tahu yang mengandung bahan organik dan zat pencemar yang perlu diolah untuk mencegah pencemaran lingkungan (Tanjung *et al.*, 2023; Kurnianto *et al.*, 2017).



Gambar 2. 1 Alur Proses Pembuatan Tahu

(Sumber: Tanjung *et al.*, 2023)

2.2 Karakteristik Air Limbah Industri Tahu

Limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri merupakan masalah serius yang dihadapi dalam era industrialisasi saat ini. Peningkatan aktivitas industri sering kali tidak diimbangi dengan pengelolaan limbah yang baik, sehingga regulasi mengenai industrialisasi ramah lingkungan menjadi sangat penting. Limbah tidak hanya dihasilkan dari proses produksi, tetapi juga terkait dengan keseluruhan siklus hidup produk, mulai dari bahan baku hingga pembuangan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengolahan limbah secara menyeluruh, dari hulu hingga hilir, agar pencemaran lingkungan dapat diminimalisir. Jika pengolahan limbah tidak dilakukan dengan benar, ancaman pencemaran dapat berakibat fatal, tidak hanya bagi lingkungan tetapi juga bagi kesehatan masyarakat (Dewi, 2020).

Industri tahu adalah salah satu sektor yang menghasilkan dua jenis limbah, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berupa ampas tahu dihasilkan dari proses penyaringan susu kedelai, sedangkan limbah cair dihasilkan selama proses koagulasi protein susu kedelai dan pengepresan tahu (Syafaati *et al.*, 2019). Limbah cair tahu mengandung bahan organik tinggi yang dapat menimbulkan masalah lingkungan, terutama karena sifatnya yang mudah membusuk, yang menghasilkan bau tidak sedap (Widyastuti *et al.*, 2023). Limbah cair ini biasanya memiliki kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) antara 6.000 hingga 8.000 mg/L dan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) berkisar antara 8.000 hingga 11.400 mg/L. Dengan kadar ini, limbah cair dari industri tahu berpotensi mencemari lingkungan secara signifikan jika tidak dikelola dengan baik (Subekti, 2011; Syafaati *et al.*, 2019). Berikut ini karakteristik limbah cair industri tahu:

2.2.1 Derajat Keasaman (pH)

Konsentrasi ion hidrogen adalah kualitas yang penting untuk air bersih dan air buangan. Konsentrasi ion hidrogen biasanya disebut pH, yang diartikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen.

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$$

Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6-9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) ekstrim sulit diolah secara biologi. Jika tingkat keasaman (pH) tidak diolah sebelum dialirkan, maka limbah cair akan mengubah tingkat keasaman (pH) pada air alami. Untuk proses pengolahan limbah cair, tingkat keasaman (pH) yang boleh dikeluarkan menuju badan air biasanya berada pada rentang antara 6.5 sampai 8.5. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan (Metcalf-Eddy, "Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 57).

2.2.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

BOD adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh populasi mikroorganisme yang berada dalam kondisi aerob untuk menstabilkan materi organik (Qasyim, 1985). BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi

dalam air oleh aktivitas mikroba. Definisi lain BOD adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau mg/l yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih Kembali (Sugiharto, 1987).

BOD merupakan uji pengukuran karbon organik yang dapat didegradasi atau disisihkan secara biologis dalam kondisi tertentu. Pengukuran BOD menunjukkan bahwa oksigen yang dibutuhkan atau dikonsumsi oleh mikrobiologi sel untuk mendegradasi bahan organik dalam air limbah untuk respirasi bakteri dalam air limbah. (W. Eckenfelder, 2000) Jika tersedia cukup oksigen dalam air limbah maka dekomposisi kandungan organik dalam air limbah dapat berlanjut dan kandungan dalam air limbah dapat didegradasi oleh sel mikroba secara aerobik. Beberapa zat dalam air limbah dikonversi menjadi sel baru dengan menggunakan sebagian energi yang dihasilkan selama oksidasi, ketika kandungan organik sudah habis. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran air limbah dan digunakan untuk mendesain sistem pengolahan limbah biologis (Metcalf and Eddy, 2003).

2.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Metcalf & Eddy *et al.*, 2007). COD seringkali lebih tinggi dibandingkan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) karena COD mengukur total bahan organik yang dapat teroksidasi, termasuk yang sulit diuraikan secara biologis. Beberapa zat organik, seperti lignin, hanya dapat dioksidasi melalui reaksi kimia dan tidak terpengaruh oleh proses biologis. Selain itu, adanya zat anorganik yang ikut teroksidasi oleh dikromat dapat meningkatkan nilai COD dalam sampel, sementara zat-zat anorganik tertentu bahkan dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengukuran BOD. Hal ini menjadikan COD sebagai ukuran yang lebih luas untuk menggambarkan total bahan organik dalam air yang berpotensi menguras oksigen.

Nilai COD mencerminkan kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi semua bahan organik dan anorganik dalam air, dan merupakan indikator beban pencemar yang berpotensi merusak kualitas air. Jika konsentrasi bahan organik dan anorganik

cukup tinggi, kadar oksigen terlarut dalam air bisa habis, sehingga menciptakan kondisi lingkungan yang tidak mendukung kehidupan organisme perairan (Amadea, 2018). Dalam perencanaan ini, konsentrasi COD dalam air limbah mencapai 4550 mg/L, yang melebihi batas standar baku mutu yang ditetapkan sebesar 150 mg/L untuk pelepasan efluen ke badan air. Standar ini diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, yang bertujuan untuk menjaga keberlanjutan ekosistem perairan dan melindungi kesehatan masyarakat dari dampak pencemaran.

2.2.4 *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solids (TSS) adalah partikel padat yang tidak mudah mengendap, melayang di dalam air, dan tidak larut. Partikel-partikel TSS memiliki muatan elektrostatis dan gerak Brown yang membuatnya tetap stabil di air, sehingga sulit mengendap secara alami. TSS erat kaitannya dengan tingkat kekeruhan air, di mana kekeruhan ini menggambarkan sifat optik air yang dipengaruhi oleh jumlah cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh partikel di dalamnya. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik maupun anorganik yang tersuspensi dan terlarut di air. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi, semakin keruh pula air tersebut (Effendi, 2003). Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, batas maksimum TSS yang diperbolehkan pada efluen (air buangan) adalah sebesar 100 mg/L.

Padatan tersuspensi yang terukur dalam parameter TSS ini terdiri dari senyawa padat yang melayang dalam air. Sumber padatan tersebut dapat berupa mineral, seperti pasir halus, lumpur, dan lempung, maupun bahan organik yang terbentuk dari hasil penguraian sisa-sisa tumbuhan atau hewan mati. Selain itu, padatan tersuspensi juga bisa berasal dari mikroorganisme, seperti plankton, bakteri, alga, dan virus. Elemen-elemen ini umumnya menyebabkan kekeruhan atau perubahan warna pada air (Nusa Idaman Said, 2017).

2.3 Standar Baku Mutu Limbah Cair Industri Tahu

Industri tahu dalam operasionalnya memanfaatkan kedelai sebagai bahan baku utama dalam proses pembuatan tahu. Sesuai dengan Lampiran XVIII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 yang mengatur tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Kedelai, terdapat ketentuan yang mengatur kualitas air limbah yang dihasilkan dari industri ini. Baku mutu tersebut bertujuan untuk menjaga lingkungan dan kesehatan masyarakat, serta memastikan bahwa limbah yang dihasilkan tidak mencemari sumber air. Untuk lebih jelasnya, rincian baku mutu air limbah bagi usaha dan kegiatan pengolahan kedelai dapat dilihat pada Tabel 2.1. Dengan pemahaman mengenai baku mutu ini, industri tahu diharapkan dapat melakukan pengolahan limbah yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Industri Pengolahan Kedelai (Tahu)

Parameter	Pengolahan Kedelai (Tahu)	
	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)
BOD	150	3
COD	300	6
TSS	200	4
pH	6-9	
Kuantitas air limbah paling tinggi (m ³ /ton)	20	

(Sumber : Lampiran XVIII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014)

2.4 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang khusus untuk mengurangi kandungan pencemar berbahaya dalam air limbah, seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), organisme patogen, zat beracun, dan bahan lain yang bersifat toksik. Unit ini berfungsi menurunkan kadar pencemar hingga mencapai standar aman (Lampiran XVIII Peraturan Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun

2014) sebelum air dibuang ke lingkungan atau digunakan kembali. Desain unit pengolahan ini harus efektif, menggunakan berbagai pengolahan kimia, fisika, dan biologis. Menurut Sugiharto (1987), pengolahan air limbah terdiri dari empat tahap, yaitu pengolahan pre-treatment, primary treatment, secondary treatment, dan tertiary treatment. Semua proses pengolahan tersebut masing-masing bertujuan menyaring, mengendapkan, menguraikan, dan menghilangkan zat berbahaya secara berurutan demi menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Berikut penjelasan rinci dari masing-masing tahap tersebut:

1. *Pre-treatment* (Pengolahan Awal)

Tahap ini merupakan langkah awal dalam pengolahan air limbah yang bertujuan untuk menghilangkan material besar yang dapat mengganggu proses pengolahan selanjutnya. Material seperti sampah padat, pasir, dan minyak kasar biasanya dihilangkan melalui proses penyaringan, pengendapan awal, atau penghilangan minyak. Pre-treatment penting untuk mencegah kerusakan pada peralatan dan memastikan efektivitas tahap pengolahan berikutnya.

2. *Primary Treatment* (Pengolahan Primer)

Setelah pre-treatment, air limbah memasuki tahap pengolahan primer yang fokus pada pengendapan material tersuspensi. Pada tahap ini, partikel padat yang lebih kecil diendapkan secara alami dengan cara memperlambat aliran air limbah agar gravitasi dapat menarik partikel tersebut ke dasar tangki sedimentasi. Hasil dari pengolahan primer ini berupa lumpur yang mengendap dan sebagian besar air yang sudah berkurang kandungan material tersuspensinya. Tahap ini juga membantu mengurangi beban pencemar organik yang akan diproses pada tahap berikutnya.

3. *Secondary Treatment* (Pengolahan Sekunder)

Tahap pengolahan sekunder melibatkan proses biologis di mana mikroorganisme digunakan untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Pada tahap ini, mikroorganisme, seperti bakteri, menguraikan zat organik dalam air sehingga *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) berkurang secara signifikan. Proses ini biasanya dilakukan dalam reaktor biologi atau kolam aerasi, yang memastikan bahwa

mikroorganisme mendapatkan cukup oksigen untuk melakukan penguraian. Hasil dari tahap ini adalah air limbah yang sudah lebih bersih dari kontaminan organik.

4. *Tertiary Treatment* (Pengolahan Tersier)

Pengolahan tersier adalah tahap terakhir yang bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa bahan pencemar yang belum terurai di tahap sebelumnya. Pada tahap ini, dilakukan proses pemurnian lanjutan untuk menghilangkan nutrisi berlebih seperti nitrogen dan fosfor, senyawa kimia berbahaya, serta mikroorganisme patogen yang mungkin masih tersisa. Teknologi yang digunakan dalam tahap ini dapat mencakup filtrasi lanjutan, adsorpsi dengan karbon aktif, desinfeksi (biasanya dengan klorinasi atau UV), dan proses lainnya. Tujuan akhir dari pengolahan tersier adalah menghasilkan air limbah yang memenuhi standar kualitas lingkungan dan aman bagi ekosistem atau pemanfaatan kembali.

2.4.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini di atas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m).

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



Gambar 2. 2 Saluran Terbuka

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



Gambar 2. 3 Saluran Tertutup

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi seandainya pada pipa yang alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie dan Sugiyanto, 2002). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut.

Properties of optimum open-channel sections (From Fox and McDonald)

Shape	Section	Optimum Geometry	Normal Depth, y_n	Cross-Sectional Area, A
Trapezoidal		$\alpha = 60^\circ$ $b = \frac{2}{\sqrt{3}}y_n$	$0.968 \left[\frac{Qn}{S^{1/2}} \right]^{3/8}$	$1.622 \left[\frac{Qn}{S^{1/2}} \right]^{3/8}$
Rectangular		$b = 2y_n$	$0.917 \left[\frac{Qn}{S^{1/2}} \right]^{3/8}$	$1.682 \left[\frac{Qn}{S^{1/2}} \right]^{3/8}$
Triangular		$\alpha = 45^\circ$	$1.297 \left[\frac{Qn}{S^{1/2}} \right]^{3/8}$	$1.682 \left[\frac{Qn}{S^{1/2}} \right]^{3/8}$
Wide Flat		None	$1.00 \left[\frac{(Q/b)n}{S^{1/2}} \right]^{3/8}$	---
Circular		$D = 2y_n$	$1.00 \left[\frac{Qn}{S^{1/2}} \right]^{3/8}$	$1.583 \left[\frac{Qn}{S^{1/2}} \right]^{3/8}$

22

Gambar 2. 4 Bentuk-Bentuk dari Saluran Terbuka

(Sumber : <https://darmadi18.wordpress.com/2016/03/10/menghitung-kecepatan-aliran-saluran-terbuka-pada-aliran-uniform/>)

Tabel 2. 2 Koefisien 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
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. (2003). *Water & wastewater infrastructure: Energy efficiency and sustainability*. Halaman 285)

2.4.2 Screen

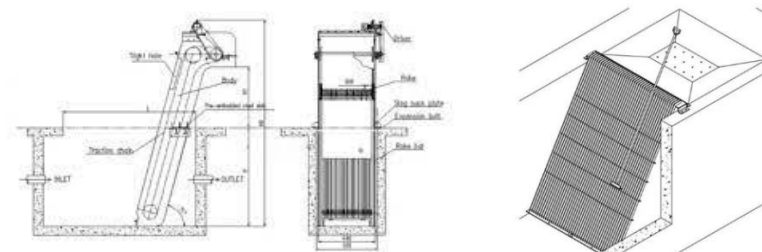
Screening atau proses penyaringan merupakan tahap awal yang krusial dalam pengolahan air limbah. Tujuan utama dari *Screening* adalah untuk memisahkan berbagai benda padat yang dapat ditemukan dalam air limbah, seperti kertas, plastik, kayu, kain, dan material padat lainnya. Ketidakberadaan pemisahan benda-benda tersebut sebelum air limbah masuk ke sistem pengolahan dapat mengakibatkan kerusakan serius pada peralatan, termasuk sistem pemompaan dan unit pemisah lumpur, serta perpipaan. Kerusakan ini tidak hanya mengganggu efisiensi operasional tetapi juga meningkatkan biaya pemeliharaan peralatan (Said, 2017). Dengan melakukan *Screening*, risiko ini dapat diminimalkan sehingga sistem pengolahan dapat beroperasi dengan lebih lancar dan efisien.

Prinsip dasar dari proses *Screening* adalah menghilangkan material kasar yang ada dalam aliran air buangan. Material kasar ini berpotensi menyebabkan kerusakan pada alat pengolahan dan mengurangi efektivitas proses pengolahan secara keseluruhan. Selain itu, keberadaan material tersebut dapat menyebabkan

kontaminasi aliran air, yang berdampak negatif pada kualitas hasil akhir dari pengolahan air limbah (Metcalf & Eddy, 2003). *Screen* biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. *Screen* pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi (Metcalf & Eddy, 2003).

1. *Coarse Screen* (Penyaring Kasar)

Screen ini berbentuk seperti batangan paralel yang biasa dikenal dengan bar *Screen*. *Screen* ini berfungsi untuk menyaring padatan kasar yang berukuran antara 6-150 mm, seperti ranting kayu, kain, dan sampah-sampah lainnya. Dalam pengolahan air limbah, *Screen* ini digunakan untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Dalam proses pembersihannya, bar *Screen* terbagi menjadi dua, yaitu secara manual maupun mekanik. Pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2. 5 Unit Bar *Screen* Mekanik dan Manual

(Sumber : Metcalf & Eddy et al, 2007)

Tabel 2. 3 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	U.S. Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
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

Parameter	U.S. Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
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 – 3,25 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1,0 m/s
Headloss (max)	6 in	5 -24 in	150 mm	150 – 600 mm

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

2. *Fine Screen* (Penyaring Halus)



Gambar 2. 6 *Fine Screen*

Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan bar *Screen*) dan pada pengolahan primer (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari *effluent* yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses *trickling filter*. Adapun ukuran padatan yang dapat disisihkan dalam proses penyaring halus (*Fine Screen*) adalah padatan yang berukuran kurang dari 6 mm (Metcalf & Eddy, 2003). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Preliminary*

Treatment) adalah seperti ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2-6 mm. Adapun kriteria perencanaan penyaring halus (*Fine Screen*) di antaranya sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Kriteria *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 <i>stainless-steel</i>	Pengolahan Primer
Drum (berputar)	Kasar	0,1 - 0,2	2,5 – 5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless-steel</i>	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01 - 0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless-steel</i>	Pengolahan Primer
	Halus		6 -35 μ m	<i>Stainlees-steel</i> dan kain <i>polyester</i>	Meremoval residual dari suspended solid sekunder
<i>Horizontal reciprocating</i>	Sedang	0,06 -0,17	1,6 – 4	Batangan <i>stainless-steel</i>	Gabungan dengan saluran air hujan
<i>Tangential</i>	Halus	0,0475	1200 μ m	Jala-jala yang terbuat dari <i>stainless-steel</i>	Gabungan dengan saluran pembawa

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition)

Tabel 2. 5 Persen Removal Saringan Halus

Jenis Screen	Luas Permukaan		Persen Removal	
	In	Mm	BOD (%)	TSS (%)
<i>Fixed parabolic</i>	0,0625	1,6	5 - 20	5 - 30
<i>Rotary drum</i>	0,01	0,25	25 - 50	25 - 45

Tabel 2. 6 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 <i>stainless - steel</i>	Pengolahan Primer
Drum (Berputar)	Kasar	0,1 – 0,2	2,5 – 5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless - steel</i>	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless - steel</i>	Pengolahan Primer
	Halus		6 – 35 μ m	<i>Stainlees – steel</i> dan kain <i>polyester</i>	Meremoval residual dari suspended solid sekunder
Horizontal Reciprocating	Sedang	0,06 – 0,017	1,6 - 4	Batangan <i>Stainless - steel</i>	Gabungan dengan

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		In	Mm		
					saluran air hujan
Tangensial	Halus	0,0475	1200 µm	Jala-jala yang terbuat dari <i>stainless - steel</i>	Gabungan dengan saluran pembawa

(Sumber : Metcalf and Eddy, WWET, and Reuce 4th edition, 2004 Halaman 322-323)

3. Micro Screen

MicroScreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat / material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5 μ m. Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi *microScreen* berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%. Prinsip yang digunakan pada jenis *Screen* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0.3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan *microScreen* tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20-40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50 mm. Untuk bar *Screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (Metcalf & Eddy, 2003).

Adapun faktor bentuk *Screen* antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Tabel Faktor Bentuk *Screen*

Jenis Bar	Faktor Bentuk Screen (β)	Bentuk
Segi empat dengan sisi runcing	2,42	

Jenis Bar	Faktor Bentuk Screen (β)	Bentuk
Segi empat dengan sisi bulat runcing	1,83	
Segi empat dengan sisi bulat	1,67	
Bulat	1,79	

(Sumber: Qasim, 1985)

Jenis *Screen* yang digunakan pada perencanaan kali ini adalah *coarse Screen* dengan jenis pembersihan manual. Pembersihan bar *Screen* juga merupakan langkah penting dalam menjaga efektivitas alat ini, dan dapat dilakukan secara manual atau mekanik. Pembersihan manual lebih umum dilakukan untuk instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dengan kapasitas kecil, sedangkan pembersihan mekanik sering digunakan di fasilitas dengan skala yang lebih besar. Biasanya, bar *Screen* terdiri dari ruang saringan (*Screen chamber*) yang memiliki struktur inlet dan outlet, serta peralatan saringan itu sendiri. Kriteria perancangan untuk bar *Screen* penting untuk memastikan efisiensi dalam pemisahan material padat, dan dapat dilihat dalam tabel yang mendeskripsikan parameter desain yang relevan. Melalui penerapan prinsip-prinsip ini, *Screening* dapat memastikan bahwa air limbah yang masuk ke tahap pengolahan selanjutnya telah bebas dari material yang dapat merusak peralatan dan mengurangi efektivitas proses pengolahan.

2.4.3 Bak Penampung

Bak penampung merupakan unit penyeimbang dimana debit dan kualitas limbah yang akan menuju unit selanjutnya harus sudah dalam kondisi konstan. Bak penampung akan menampung sementara air limbah pada periode waktu tertentu dan mengalirkan air dari bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Bak penampung dimanfaatkan ketika ada pembersihan atau perbaikan unit yang membutuhkan waktu lama atau mengharuskan proses pengolahan limbah dihentikan, maka limbah dari industri dapat disimpan pada bak penampung.

Waktu detensi di bak penampung 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 penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy *et al.*, 2007). Bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya adalah memerlukan area/lokasi yang cukup luas, mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal, memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat.



Gambar 2. 7 Unit Bak Penampung

(Sumber : <https://tirto.id/sumber-air-baku-pdam-belitung-tercemar-limbah-tambang-ggQm>)

Adapun kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan untuk unit bak penampung adalah sebagai berikut (Ditjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

Tabel 2. 8 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Kedalaman air minimal	h_{min}	1,5 – 2	m	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007)
2.	Ambang batas (<i>freeboard</i>)	h_{fb}	5 - 30	%	
3.	Laju pemompaan udara (<i>aerasi</i>)	Q_{udara}	0,01 – 0,015	$m^3/m^3./$ menit	
4.	Kemiringan dasar tangki	Slope	40 – 100	mm/m diameter	(Qasim & Zhu, 2017)
5.	Waktu tinggal	T_d	1 - 2	jam	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 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 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. 9 Karakteristik Pompa Bangunan Pengolahan Air

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	- 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	- Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua - Air limbah pertama - Lumpur kasar
	Diafragma Penghisap	- Permasalahan zat kimia limbah logam

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
		- 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)

2.4.4 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 6,5-9. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas bufer yang terjadi karena ada produk CO_2 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 , Na_2CO_3 , atau NH_4OH ke limbah asam
4. Penambahan FeCl_3 , H_2SO_4 , HCl ke dalam limbah basa
5. Pembangkitan CO_2 dalam limbah basa

Bak Netralisasi digunakan untuk mencampurkan basa dengan air limbah (asam), agar mencapai pH netral yang dikehendaki. Proses netralisasi menggunakan 2 bak yaitu bak netralisasi dan bak pembubuh. Pada kedua bak terjadi pengadukan untuk mencampur atau menghomogenkan larutan. Proses pengadukan menggunakan prinsip mixing dengan aliran turbulen. Pada bak dilengkapi peralatan mekanis yaitu motor penggerak, dengan kriteria kecepatan pengadukan) sebagai berikut (Reynolds & Richards, 1996):

1. Paddle dengan putaran 2 – 150 rpm
2. Turbine dengan putaran 10 – 150 rpm
3. Propeller dengan putaran 150 – 15000 rpm

2.4.5 Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan proses yang terjadi secara berkelanjutan dengan bentuk pencampuran koagulan hingga proses pembentukan flok yang dipengaruhi oleh proses pengadukan dan dosis koagulan (Kawamura, 1991). Fungsi pengadukan sebagai upaya agar koagulan dapat bercampur maksimal dengan air baku. Terdapat dua sistem pengadukan yaitu, pengadukan cepat yang digunakan pada proses koagulasi dan pengadukan lambat yang digunakan pada saat proses flokulasi.

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, 2012).

Faktor yang mempengaruhi proses koagulasi dan flokulasi diantaranya :

1. Destabilisasi Partikel atau Koloid
2. Tumbukan Van der Waals
3. Gradien Kecepatan
4. Waktu Detensi (Td)

Pengadukan adalah unit yang penting pada pengolahan air limbah meliputi:

1. Pengadukan satu substansi dengan substansi lain
2. Mencampur cairan yang dapat dicampur
3. Flokulasi partikel air limbah
4. Melanjutkan pengadukan cairan tersuspensi

5. Transfer panas.

Sebagian besar pengadukan pada pengolahan air limbah dapat dikelompokkan sebagai *continuous-rapid* (kurang dari 30 detik) atau *continuous* (terus-menerus).

1) *Continuous Rapid Mixing* (pengadukan cepat)

Pengadukan cepat biasanya digunakan dimana satu substansi diaduk dengan yang lain. Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Masduqi & Assomadi, 2012). Waktu pengadukan cepat dari 20-60 detik, dengan gradien kecepatan 700- 1000/s. Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan *baffle* basins (Reynolds & Richards, 1996).

Prinsip dari pengadukan cepat ini adalah:

- Mencampur bahan kimia dengan air limbah (misal: penambahan alum, garam besi untuk di flokulasi dan pengendapan atau untuk menyebarkan klorin dan hypoklorin ke air buangan untuk desinfektan)
- Mencampur cairan yang dapat dicampur
- Penambahan bahan kimia untuk lumpur dan biosolid untuk memperbaiki karakteristik pengeringan.

2) *Continuous Mixing* (pengadukan terus-menerus)

Pengadukan terus-menerus digunakan dimana konten dari reactor atau *Holding tank* atau tangki harus terjaga suspensinya pada bak equalisasi, bak flokulasi, dan proses pengolahan pertumbuhan biologi, *aerated lagoon*, dan *aerobic digester*.

Koagulasi (*rapid mix*) berfungsi untuk mencampurkan bahan kimia menjadi sama rata dalam bak dan memberikan hubungan yang cukup antara koagulan dengan partikel *suspended solid*. Diharapkan *effluent* dari proses koagulan dapat membentuk mikroflok.

Tipe pengaduk yang digunakan ada 3 tahap antara lain :

- Pengaduk secara mekanik
- Pengaduk dengan hidrolis atau udara
- Pengaduk dengan *pneumatic* atau *baffle*

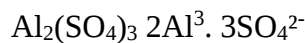
Pengolahan dengan proses koagulasi selalu diikuti proses flokulasi. Fungsi dari proses koagulasi untuk memberikan koagulan (aluminium sulfat, garam besi, dan kalium hidroksida) pada air buangan. Sedangkan fungsi dari proses flokulasi adalah untuk membentuk flok-flok. Perbedaan proses flokulasi dan koagulasi pada kecepatan pengadukannya, proses koagulasi memerlukan yang relatif cepat dibanding proses flokulasi.

Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah:

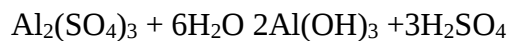
1) Koagulan Aluminium Sulfat

Aluminium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. 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 6-8. Dalam air koagulan alum akan mengalami proses disosiasi, hidrolisa dan polimerisasi.

Reaksi disosiasi:



Reaksi hidrolisa:



Reaksi polimerisasi ion kompleks



2) Koagulan Ferri Klorida (FeCl_3)

3) Koagulan Klorinasi Kopperas ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$), $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

4) Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC)

Komponen - komponen pengaduk lambat :

- Impeler
- Motor
- Controller
- Reducer
- Sistem Transmisi
- Shaft

➤ *Bearing*

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, 2012). Waktu pengadukan cepat dari 15- 30 menit, dengan gradien kecepatan 20-70/s. Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik dan pengadukan hidrolis (Reynolds & Richards, 1996).

Kendala yang ada pada pengaduk lambat adalah:

1. Kurang Fleksibel Terhadap Perubahan Kualitas Air Baku
2. Sulit Beradaptasi Terhadap Perubahan Debit
3. Headloos Besar

Jenis-jenis flokulasi, yaitu:

1. Flokulasi mekanis
 - *Baffle channel flocculator*
 - *Gravel bed flocculator*
 - *Hidrolic jet flocculator*
3. Flokulasi pneumatis

Pengolahan dengan proses koagulasi selalu diikuti dengan proses flokulasi. Pengolahan dengan cara ini diperlukan untuk mengolah limbah yang tingkat kekeruhannya cukup tinggi yang disebabkan oleh zat pencemar.

Perbedaan proses koagulasi dengan flokulasi adalah pada kecepatan pengadukannya. Koagulasi memerlukan pengadukan yang relatif cepat sedangkan flokulasi pengadukannya secara perlahan.

Adapun jenis pengaduk cepat secara mekanik yaitu :

1. Turbine
2. Paddle
3. Propellers

Jika hanya menggunakan suatu koagulan maka menggunakan satu kompartemen, tetapi apabila lebih dari satu koagulan jumlah kompartemen bisa

lebih dari satu. Diharapkan aliran dalam bak pengaduk cepat adalah aliran turbulen. Volume bak tergantung dari waktu detensi. Hubungan waktu detensi dan gradien kecepatan pada pengaduk cepat dilihat pada Tabel 2.10 di bawah ini:

Tabel 2. 10 Hubungan Waktu Detensi & Gradien Kecepatan Pengaduk Cepat

Waktu detensi (Detik)	G (fps/ft.or sec ⁻¹)
20	1000
30	900
40	790
50	700

(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012)

Dengan kriteria :

➤ Untuk koagulasi-flokulasi

Waktu detensi = 20 – 60 detik

G = 700 – 1000 fps/ft

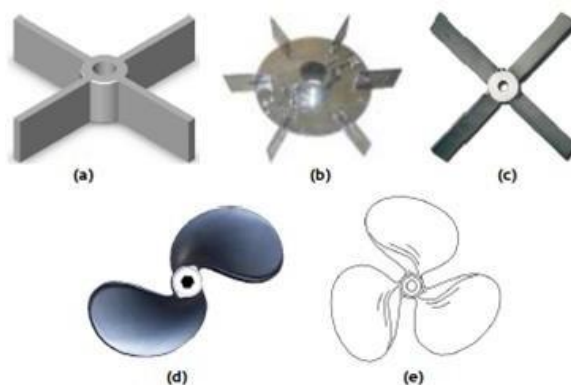
Tinggi bak = 1 – 1.25 diameter atau lebar bak.

➤ Untuk presipitasi

Waktu detensi = 0.5 – 6 menit

G = 700 – 1000 fps/ft

a. Tipe Turbine



Gambar 2. 8 Tipe Turbine Impeller

(Sumber: Qasim, 2000)

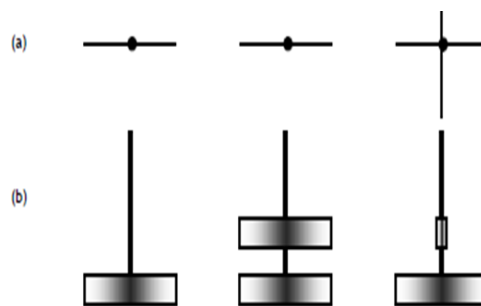
Ada beberapa jenis turbine impeller antara lain :

- *Straight blade*
- *Vaned disc*
- *Curved blade*
- Propeler 2 blade
- Propeler 3 blade.

Sedangkan kriteria dari turbin propeller ini adalah sebagai berikut:

- Diameter impeller = 30 – 50 % dari diameter atau lebar bak.
- Kecepatan impeller = 10 – 150 rpm
- *Baffle* dalam bak = 0.1 dari diameter atau lebar bak.

b. Paddle



Gambar 2. 9 Tipe Paddle

(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012)

Kriteria dari Paddle Impeller ini adalah sebagai berikut

- Diameter = 50 – 80 % dari diameter atau lebar bak
- Kecepatan = 20 – 150 rpm
- *Baffle* dalam bak = 0.1 dari diameter atau lebar bak
- Lebar paddle = $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{10}$ dari diameter bak atau lebar bak

c. Propeller

Kriteria dari Propeler ini adalah sebagai berikut :

- Kecepatan = 400 – 1750 rpm
- *Baffle* dalam bak = 0.1 dari diameter atau lebar bak.
- Terdiri dari = 2 – 4 blades
- Max. Diameter propeller = 18 inch

Power yang diberikan pada air yang diolah oleh propeler yang berbeda harus menghasilkan aliran turbulen dengan $NRe > 10000$.

Tabel 2. 11 Nilai konstanta K_L dan K_T

Type Impeller	K_L	K_T
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
Shcrouded turbine, 6 curved blades	97.5	1.08
Shcrouded turbine, with stator, no <i>baffles</i>	172.5	1.12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), $Di/Wi = 4$	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 , $Di/Wi = 6$	71.0	3.82

(Sumber: Reynold, Richards Unit Operation and Processes in Environmental engineering, Second edition, 1996, hal 184)

Pengaduk dengan udara seperti pada activated sludge, waktu detensi dan gradien kecepatan mempunyai kriteria yang sama dengan pengadukan mekanik. Pengadukan dengan udara kurang efektif digunakan apabila aliran influent berfluktuasi. Pengaduk dengan *baffle* sama dengan kriteria pada pengaduk mekanik, kurang efektif digunakan apabila aliran masuk berbeda dan tidak memungkinkan memenuhi gradien yang disyaratkan.

Tujuan dari flokulasi adalah untuk agregat atau flok dari keadaan partikel yang stabil dan dari destabilisasi partikel. Flokulasi pada air limbah secara mekanik atau air agitation dapat digunakan untuk: (Metcalf & Eddy, 2003).

1. Meningkatkan penyisihan suspended solid dan BOD pada pengendapan pertama

2. Mengkondisikan air limbah dari air limbah industri
3. Memperbaiki performa dari bak pengendap 2 yang mengikuti activated sludge
4. Sebagai pengolahan pertama untuk penyaringan kedua

Kriteria yang harus diperhatikan untuk penggunaan garam besi sebagai koagulan adalah G tidak lebih dari 50/det. Sedangkan untuk presipitasi : (Reynold and Richard, 1996)

- T_d = 15- 30 menit
- G = 27- 75 /det
- G_{td} = 10.000- 100.000

2.4.6 Bak Pengendap 1

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Bak pengendap atau bak sedimentasi 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. Contoh prosesnya ialah pada pengendapan koagulasi-flokulasi (Masduqi & Assomadi, 2016).

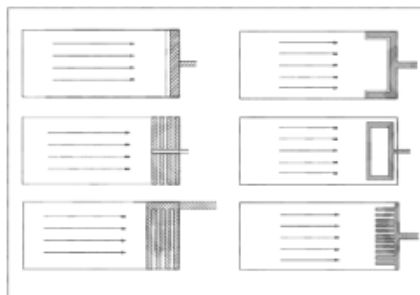
Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid tanpa bantuan bahan kimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan kimia dan 25- 40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh (Iswahyudi dkk., 2018) :

- a. Aliran angin
- b. Suhu udara permukaan
- c. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air
- d. Suhu terstratifikasi dari iklim
- e. Bilangan eddy

manual, sebab pembersihan secara manual biasanya dilakukan dengan cara menggelontorkan air agar lumpur terbawa oleh air (Qasim, 1985).

4. Zona Outlet

Desain Outlet biasanya terdiri dari pelimpah yang dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi terjadinya aliran pendek. *Weir loading rate* adalah beban pelimpah (dalam hal ini debit air) yang harus ditanggung per satuan waktu dan panjangnya. Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka *weir loading rate* akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona outlet tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar. Penyusunan zona outlet dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 11 Susunan Pelimpah Zona Outlet

Kriteria - kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: *surface loading rate* (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 *et al.*, 2007). Adapun kriteria perencanaan untuk bangunan bak pengendap awal adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 12 Kriteria Perencanaan Bak Pengendap I (Sedimentasi)

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Kedalaman air minimal	H	3 – 4,9	m	

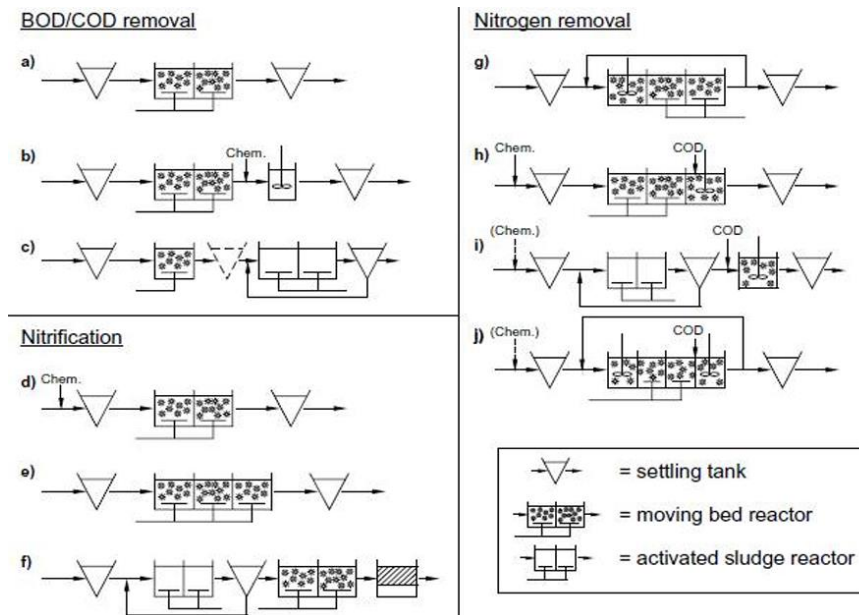
No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
2.	Diameter	D	3 – 60	m	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 398
3.	Slope Dasar	Slope	1/16 – 1/6	mm/m diameter	
4.	<i>Flight Speed</i>	-	0,02 – 0,05	m/menit	
5.	Waktu Tinggal	Td	3 – 5	jam	
6.	<i>Overflow Rate</i> Rata – Rata Puncak	-	30 – 50 80 - 120	m ³ /m ² /hari	
7.	<i>Weir Loading</i>	-	125 - 500	m ³ /m ² /hari	
8.	Diameter <i>Inlet Well</i>	D	15 - 20	% (diameter bak)	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 401
9.	Kecepatan Aliran Menuju <i>Inlet Well</i>	V	0,3 – 0,75	m/s	
10.	Konsentrasi Solid	-	4 - 12	%	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 398
11.	Suhu	T	28	° C	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 1742
12.	Viskositas Kiematis	V	0,8394 x 10 ⁻⁶ m ² /s	m ² /s	
13.	Viskositasi Absolut	μ	0,8363 x 10 ⁻³ N.s/m ³	m ² /s	
14.	Massa Jenis Air (T=28° C)	pair	996,26	kg/ m ³	

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
15.	Bilangan Reynold (NRE)	NRE	< 1 (Laminer)	-	(Reynolds & Richards, 1996) Halaman 224
16.	<i>Specific Gravity Solid</i> (Ss)	Ss	1,4	-	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 1456
17.	<i>Specific Gravity Sludge</i>	Sg	1,02	-	
18.	NRE untuk Vh	NRE	< 2000 (Laminer)	-	(Razif, 1985) Pengolahan Air Minum, Teknik Penyehatan Fakultas Teknik Sipil ITS
19.	NFr		10 ⁵	-	
20.	Koefisien Kekasaran Aksesoris Pipa	K	Elbow = 0,75 Gate Valve = 0,19 Check Valve = 2,50 Tee = 0,50 Increaser = 0,5	-	(M. Noerbambang & Morimura, 2005) Halaman 76

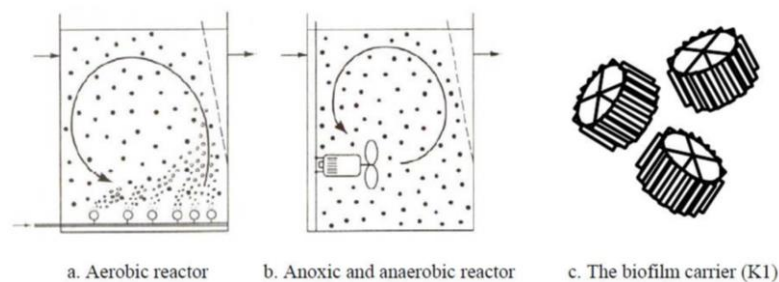
2.4.7 MBBR

Sistem MBBR merupakan pengolahan limbah berbasis bioreaktor yang diisi oleh carrier yang biasanya terbuat dari plastik. Carrier merupakan benda yang menjadi tempat melekatnya biofilm dari berbagai koloni mikroba. Reaktor dalam MBBR dapat beroperasi dalam kondisi aerob maupun anaerob. Pada kondisi aerob proses penguraian materi organik dan nitrifikasi terjadi, sedangkan pada kondisi anaerob proses denitrifikasi. Pada reaktor aerob, sistem sirkulasi dilakukan dengan menggunakan pompa udara, sedangkan pada reaktor anoksik menggunakan *mixer* yang terendam. Volume *carrier* 70% dari total volume reaktor (Weiss *et al.*, 2012). Di dalam reaktor MBBR terdapat “*carrier*” yang berfungsi sebagai tempat melekatnya mikroba pengurai yang membentuk biofilm. Carrier tersebut aktif bergerak dan tersuspensi dalam limbah oleh sistem aerasi yang meniupkan udara ke dalam reaktor. Carrier menyebabkan semakin besar agitasi yang terjadi juga memperbesar luas permukaan untuk melekatnya biofilm juga penyerapan oksigen. Hal tersebut juga memperpanjang waktu kontak limbah dengan mikroba sehingga proses penguraian lebih efektif baik untuk mengurai bahan organik maupun senyawa nitrogen (Kermani *et al.*, 2008).

Proses aerasi pada sistem MBBR memberikan kondisi aerob pada bakteri di lapisan luar biofilm sehingga proses oksidasi aerob terjadi dengan cepat dan efektif. Mikroba yang mengurai tidak hanya mikroba yang melekat pada carrier tetapi juga mikroba yang tersuspensi dalam cairan limbah, yang nantinya akan mengendap dan terpisah menjadi lumpur aktif. Lumpur yang dihasilkan dari proses MBBR 10 kali lebih sedikit dibandingkan sistem pengolahan limbah dengan lumpur aktif (Ahl, Leiknes dan degaard., 2006). Menurut Ahl *et al* (2006), MBBR merupakan sistem pengolahan lumpur aktif dengan carrier yang bergerak bebas di dalam reaktor. Hal tersebut menunjukkan bahwa carrier sangat berperan penting dalam teknologi MBBR tersebut. Hal tersebut mendorong penelitian tentang *carrier* yang paling efektif sebagai media lekat dari biofilm mikroba pengurai seperti pada Gambar



Gambar 2. 12 Gambar Proses MBBR Secara Umum
(Sumber: (Odegaard, Rusten, dan Westrum 1994))



Gambar 2. 13 Reaktor Aerob, Anaerob Anoksik dan Carrier

2.4.8 Clarifier

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 lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri pathogen lainnya. Salah satu contoh pengolahan ketiga ini adalah bangunan clarifier. Clarifier sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing-masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

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



Gambar 2. 14 Unit Clarifier

(Sumber : <https://www.monroenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/circular-clarifiers-and-thickeners/>)

Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang tertampung di *secondary* clarifier ini sudah memenuhi baku mutu air limbah sehingga dapat dibuang langsung ke saluran air kotor atau diolah dan dimanfaatkan. Air yang telah diolah dan ditampung di *secondary* clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dan lain-lain. Pada *secondary* clarifier ini tergantung pada kedalaman tangki, bedanya dengan *preliminary* clarifier yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun, masalahnya pada *secondary* clarifier adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi.

Tabel 2. 13 Kriteria Perencanaan Bak Pengendap II (Clarifier)

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Kedalaman air minimal	H	3 – 4,9	m	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 398
2.	Diameter	D	3 – 60	m	
3.	Slope Dasar	Slope	1/16 – 1/6	mm/m diameter	
4.	<i>Flight Speed</i>	-	0,02 – 0,05	m/menit	
5.	Waktu Tinggal	Td	1,5 – 2,5	jam	
6.	<i>Overflow Rate</i> Rata – Rata Puncak	-	30 – 50 80 - 120	m ³ /m ² /hari	
7.	<i>Weir Loading</i>	-	125 - 500	m ³ /m ² /hari	
8.	Diameter <i>Inlet Well</i>	D	15 - 20	% (diameter bak)	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 401
9.	Konsentrasi Solid	-	4 - 12	%	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 411
10.	Suhu	T	28	° C	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 762
11.	Viskositas Kiematis	V	0,8394 x 10 ⁻⁶ m ² /s	m ² /s	
12.	Viskositasi Absolut	μ	0,8363 x 10 ⁻³ N.s/m ³	m ² /s	

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
13.	Massa Jenis Air (T=28 ° C)	pair	996,26	kg/ m ³	
14.	Bilangan Reynold (NRE)	NRE	< 1 (Laminer)	-	(Reynolds & Richards., 1996) Halaman 224
15.	<i>Specific Gravity Solid (Ss)</i>	Ss	1,25	-	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 1456
16.	<i>Specific Gravity Sludge</i>	Sg	1,005	-	
17.	NRE untuk Vh	NRE	< 2000 (Laminer)	-	(SNI 6674 Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air Limbah, 2008) Halaman 6
18.	NFr		10 ⁵	-	
19.	Ketinggian <i>inlet well</i>	-	0,5 – 0,7	m	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2007) Halaman 401
20.	Kecepatan <i>inlet well</i>	-	0,3 – 0,75	m/s	

2.4.9 Sludge Drying Bed (SDB)

Sludge Drying Bed (SDB) merupakan salah satu metode yang efektif dalam memisahkan air dari sludge yang dihasilkan oleh pengolahan air limbah. Metode ini berfungsi untuk mengurangi kadar air pada biosolid dan lumpur yang mengendap, sehingga memudahkan proses pengelolaan limbah selanjutnya. Setelah proses pengeringan selesai, padatan yang dihasilkan akan dikuras dan dibuang ke

lokasi pembuangan, seperti *landfill*. Salah satu keuntungan dari penggunaan *Sludge Drying Bed* adalah kemampuannya untuk mengurangi volume lumpur yang perlu dikelola, sehingga menghemat biaya transportasi dan pengolahan lebih lanjut (Metcalf & Eddy, 2003). Proses ini umumnya digunakan dalam pengolahan lumpur dengan ukuran partikel kecil hingga sedang, yang merupakan karakteristik dari sludge yang dihasilkan oleh berbagai instalasi pengolahan air limbah.

Konvensional *Sand Sludge Drying Bed* merupakan jenis SDB yang sering digunakan untuk mengumpulkan padatan lumpur. Dalam proses ini, lumpur akan diletakkan di kolam dengan kedalaman lapisan lumpur berkisar antara 200-300 mm. Selama periode pengeringan, kadar air dalam sludge berkurang melalui dua mekanisme utama: evaporasi dan drainase. Saluran drainase yang terletak di dasar kolam berfungsi untuk mengeluarkan air yang terperangkap, sedangkan penguapan air terjadi akibat paparan sinar matahari dan aliran udara. Efisiensi pengurangan kadar air ini sangat bergantung pada desain dan penempatan saluran drainase, yang memerlukan perhatian khusus dalam menentukan dimensi pipa agar tidak mengganggu proses pengeringan (Metcalf & Eddy, 2003).

Saluran drainase dalam *Sludge Drying Bed* umumnya dilengkapi dengan pipa PVC berpori atau pipa terbuka yang diletakkan di dasar kolam. Persyaratan kemiringan minimal saluran drainase adalah sekitar 1% (0,01 m/m) untuk memastikan aliran air yang efektif, dengan jarak antar saluran drainase yang bervariasi antara 2,5 m hingga 6 m. Untuk melindungi saluran drainase dari lumpur, media penutup berupa kerikil atau pecahan batu disusun dengan ketebalan antara 230 mm hingga 300 mm. Ketebalan ini berfungsi untuk menghambat laju air dan mencegah masuknya lumpur ke dalam saluran drainase, yang dapat merusak sistem (Metcalf & Eddy, 2003). Selain itu, pasir yang digunakan sebagai media penyangga memiliki koefisien keseragaman maksimum 4 dan ukuran efektif antara 0,3 hingga 0,75 untuk memastikan drainase yang optimal.

Area pengeringan dalam *Sludge Drying Bed* memiliki dimensi lebar maksimal 6 m dan panjang yang bervariasi antara 6 m hingga 30 m, dengan kedalaman antara 380 mm hingga 460 mm. Dalam konstruksinya, penggunaan bahan beton sangat disarankan agar SDB dapat bertahan lama dan menahan beban

lumpur. Pipa inlet harus dirancang dengan kecepatan aliran minimal 0,75 m/s untuk memastikan proses pengurasan yang efektif pada saluran drainase. Material pipa yang umum digunakan adalah pipa besi dan PVC. Dalam sistem penyaluran sludge, aliran air diatur agar tegak lurus dengan posisi *Sludge Drying Bed*, guna mengurangi kecepatan alir saat sludge memasuki area pengeringan (Metcalf & Eddy, 2003).

Setelah proses pengeringan, *sludge* yang dihasilkan menunjukkan karakteristik tertentu, seperti permukaan yang retak dan mudah hancur, serta warna hitam atau coklat gelap. Kadar air dalam *sludge* yang telah mengering berkisar antara 60% setelah proses berlangsung selama 10 hingga 15 hari. Pengurasan *sludge* hanya dapat dilakukan setelah proses pengeringan selesai, dan dilakukan dengan cara menggunakan *scraper* atau secara manual sebelum diangkut keluar dari lokasi pengolahan menggunakan truk (Metcalf & Eddy, 2003). Proses ini memerlukan ketelitian agar semua material dapat diangkat secara efektif tanpa meninggalkan residu yang dapat menimbulkan masalah lingkungan.

Selama proses pengeringan berlangsung, penting untuk menutup *Sludge Drying Bed* untuk mengisolasi bau yang mungkin ditimbulkan dari pengolahan *sludge*. Jika reaktor dirancang terbuka, maka disarankan agar dibangun pada jarak minimal 100 m dari lokasi pemukiman untuk mencegah pencemaran udara akibat bau. Daya tampung SDB dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan *sludge* kering dalam kg per meter persegi per tahun ($\text{kg/m}^2\cdot\text{tahun}$). Pengelolaan yang tepat dari *sludge* yang dihasilkan tidak hanya mendukung proses pengolahan air limbah yang efisien, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan dampak lingkungan dari kegiatan industri (Metcalf & Eddy, 2003). Contoh dan skema dari *Sludge Drying Bed* dapat dilihat pada gambar yang melengkapi penjelasan ini.



Gambar 2. 15 *Bak Sludge Drying Bed*

(Sumber :

https://cwas.org.in/resources/file_manager/O%26M%20manual%20for%20FSTP.pdf)

Prinsip kerja unit SDB yaitu memanfaatkan penguapan alamiah oleh sinar matahari. SDB dilengkapi dengan media pasir dan kerikil di bagian bawah agar didapatkan supernatan yang kualitasnya lebih baik. Supernatan akan mengalir menuju badan air melalui sistem perpipaan bawah tanah (underdrain) (Putri, 2016).

Tabel 2. 14 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Sludge Drying Bed*

Kelebihan	Kekurangan
• Mudah untuk dioperasikan, sehingga tidak membutuhkan operator berkemampuan khusus • Padatan hasil pengeringan dapat dijadikan campuran bahan pengomposan • Reduksi volume yang dihasilkan tinggi, dan • Dapat menyisihkan bakteri patogen	• Luas bahan yang dibutuhkan besar • Hasil pengeringan tergantung pada kondisi cuaca • Hanya dapat diaplikasikan pada musim kemarau atau dilengkapi dengan atap pada musim penghujan • Pembersihan padatan kering dilakukan secara manual atau menggunakan alat khusus, dan • Berpotensi menimbulkan bau

Dalam prosesnya, *Sludge Drying Bed* dibedakan menjadi lima (5) jenis, di antaranya (Metcalf & Eddy, 2004) :

1. *Conventional Sand Sludge Drying Bed*
2. *Paved Sludge Drying Bed*

3. *Artificial Media Sludge Drying Bed*

4. *Vacuum Assisted Sludge Drying Bed*

5. *Solar Sludge Drying Bed*

Tabel 2. 15 Kriteria Perencanaan *Sludge Drying Bed*

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Tebal pasir halus dan kasar	150 & 75	mm	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2004) Halaman 1570-1572
2.	Tebal kerikil halus, sedang & kasar	75, 75 , 75 - 150	mm	
3.	<i>Sludge loading rate</i>	120 – 150	kg/solid kering/m ² .tahun	
4.	Tebal bed	20 – 30	cm	(Qasim, 1985)
5.	Lebar bed	5 – 8	m	
6.	Panjang bed	6 - 30	m	
7.	Waktu pengeringan	10 - 15	hari	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2004) Halaman 1570-1572
8.	<i>Uniformity coefficient</i>	<4	-	(Qasim, 1985)
9.	<i>Effective size</i>	0,3 – 0,75	mm	
10.	V air dalam inlet	0,75	m/detik	
11.	V air dalam drain	0,75	m/detik	
12.	Tebal <i>sludge cake</i>	200 - 300	mm	(Metcalf & Eddy <i>et al.</i> , 2004) Halaman 1570-1572
13.	Kecepatan pipa underdrain	0,75	m/detik	
14.	Diameter pipa underdrain	>100	mm	
15.	Slope	>1	%	

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
16.	Berat air dalam cake (Pi)	20 - 50	%	
17.	Kadar air (P)	40	%	
18.	Kadar solid	60	%	

2.5 Profil Hidrolis

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

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

- Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- Kehilangan tekanan pada bak
- Kehilangan tekanan pada pintu air
- Kehilangan tekanan pada weir, sekat dan lain-lain harus dihitung secara khusus
- Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

2. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris ada beberapa macam, yaitu:

- Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris;
- Kehilangan tekanan pada perpipaan;
- Kehilangan tekanan pada aksesoris; dan
- Kehilangan tekanan pada pompa.

3. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat mengakibatkan 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. Tambahkan kehilangan tekanan antara *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di *clear well*.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama
- d. Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air

4. Pompa

Pemompaan digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit pengolahan selanjutnya. Untuk mengetahui macam-macam karakteristik pompa bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 16 Karakteristik Pompa

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	- 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
<i>Posite Displacement</i>	<i>Screw</i>	- Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
		- Air limbah pertama - Lumpur kasar
	Diafragma Penghisap	- 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

2.6 BOQ dan RAB

Bill of Quantities (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan dua komponen krusial dalam perencanaan proyek pengolahan air buangan untuk industri tahu. BOQ adalah daftar terperinci dari semua jenis pekerjaan, material, dan peralatan yang diperlukan dalam proyek, yang mencakup jumlah, spesifikasi, serta harga satuan dari tiap komponen. Dalam konteks pengolahan air limbah industri tahu, BOQ mencakup item-item seperti pembuatan bak penampungan limbah, instalasi pipa untuk saluran pembuangan, pemasangan saringan (*Screening*), unit sedimentasi, hingga perangkat pemisah lumpur (*Sludge Drying Bed*). Detail BOQ ini membantu memastikan bahwa semua kebutuhan proyek sudah teridentifikasi secara jelas dan dapat menjadi dasar estimasi biaya.

Rencana Anggaran Biaya (RAB) disusun berdasarkan BOQ yang telah direncanakan dan berfungsi sebagai perkiraan total biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh tahapan pengolahan air limbah. RAB mencakup biaya material, tenaga kerja, alat, serta biaya operasional lainnya yang mungkin timbul selama proses instalasi hingga pengujian sistem. Dalam proyek pengolahan air limbah industri tahu, RAB mencakup biaya pembuatan struktur bangunan dan komponen pengolahan, seperti biaya pengadaan media filtrasi, pemasangan pipa

drainase, serta konstruksi *Sludge Drying Bed*. Biaya ini juga termasuk anggaran untuk sistem kontrol kualitas air dan pemeliharaan awal setelah instalasi. Dengan menyusun RAB yang terperinci, pihak manajemen dapat mengalokasikan dana dengan lebih efektif dan mengantisipasi biaya tambahan yang mungkin muncul.

BOQ dan RAB juga memiliki fungsi penting dalam memastikan transparansi dan akuntabilitas dalam pelaksanaan proyek pengolahan air limbah. Detail dalam BOQ dan RAB memungkinkan pihak yang terlibat, seperti kontraktor, pengawas proyek, dan pemilik industri, untuk memantau penggunaan dana dan kualitas pekerjaan sesuai dengan standar yang ditentukan. Proses pengecekan atau evaluasi juga menjadi lebih mudah karena seluruh kebutuhan dan rincian biaya sudah terdokumentasi dengan jelas. Dengan demikian, BOQ dan RAB tidak hanya berfungsi sebagai alat estimasi biaya tetapi juga sebagai pedoman untuk pengendalian biaya dan manajemen risiko dalam proyek pengolahan limbah industri tahu, demi mencapai pengelolaan yang efektif dan efisien.