

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Kecap

Industri kecap merupakan salah satu agroindustri yang bergerak pada industri pengolahan hasil pertanian. Bahan baku industri tersebut diperoleh dari produk pertanian sendiri dengan teknologi modern diolah menjadi komoditi yang memiliki nilai tambah (Tadjuddin, 1998). Dalam sebuah proses industri selain menghasilkan produk industri, dampak proses tersebut adalah menghasilkan limbah. Adapun jenis limbah bisa berupa air limbah, emisi gas buang, dan limbah padat. Dari proses industri untuk menghasilkan produk kecap 1 ton menghasilkan air limbah sampai dengan 10 m³. Sehingga dalam satu tahun industri dengan produk kecap 1 ton akan menyumbangkan air limbah sampai dengan 3.650 m³/tahun. Nilai produksi kecap Rp 7,1 triliun (asumsi harga Rp 40.000,- per liter) akan menyumbangkan air limbah sampai dengan 647.875.000 m³. Inilah yang menjadi permasalahan proses produksi di industri kecap, yaitu dampak ikutan berupa air limbah dengan debit relatif tinggi (Rame, 2019).

2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Kecap

Air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Air limbah merupakan kombinasi dari cairan dan sampah-sampah buangan yang dihasilkan dari proses produksi suatu industri, domestik (rumah tangga), perdagangan, air tanah, air permukaan, dan air buangan lainnya yang apabila tidak dikelola dengan baik akan berdampak pada lingkungan (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Tabel 2. 1 Parameter Industri Pengolahan Kedelai

Parameter	Pengolahan Kedelai					
	Kecap		Tahu		Tempe	
	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)
BOD	150	1,5	150	3	150	1,5
COD	300	3	300	6	300	3

Parameter	Pengolahan Kedelai					
	Kecap		Tahu		Tempe	
	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)
TSS	100	1	100	4	100	1
pH	6-9					
Kuantitas air limbah Paling tinggi (m ³ /ton)	10		20		10	

(Sumber: Permen LH No 5 Tahun, 2014)

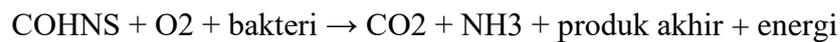
Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, terdapat 4 (empat) parameter utama limbah industri pengolahan kedelai untuk kecap yang perlu diolah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, dan pH air limbah kecap. Keenam parameter tersebut harus diolah sesuai dengan baku mutu menggunakan unit yang telah direncanakan. Adapun penjelasan dari karakteristik limbah cair industri kecap sebagai berikut:

2.2.1 *Biological Oxygen Demand* (BOD)

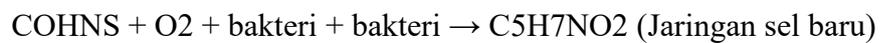
BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD₅ adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD₅ (Sugiharto, 1987).

Dalam proses penguraian parameter BOD, terdapat tiga atau lebih proses yang berlangsung hingga dekomposisi BOD selesai. Proses pertama yaitu sebagian air limbah dioksidasi menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel dan pembentukan jaringan sel baru. Secara bersamaan beberapa

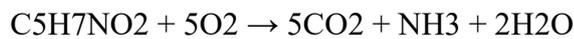
bahan organik dari air limbah diubah menjadi jaringan sel baru menggunakan energi yang dilepaskan selama oksidasi. Ketika bahan organik habis, sel-sel baru akan mengonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk metabolisme sel. Proses ketiga ini disebut respirasi endogen. CHONS (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel dengan reaksi kimia: Oksidasi:



Sintesis:



Respirasi endogen:



(Metcalf & Eddy et al., 2007)

2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik oleh bahan kimia pengoksidasi kuat dalam larutan asam. Umumnya ada hubungan linear antara COD dan hasil BOD₅. Hubungan ini tergantung sepenuhnya pada komposisi air limbah (Qasim & Zhu, 2017). Pengukuran COD dilakukan dengan menambahkan reagen oksidator ke dalam sampel air atau limbah, dan kemudian mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam sampel. Hubungan antara Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biological Oxygen Demand (BOD) adalah bahwa keduanya digunakan untuk mengukur kandungan bahan organik dalam air atau limbah. BOD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air atau limbah, sedangkan COD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air atau limbah. Karena COD mencakup senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme, nilai COD biasanya lebih tinggi daripada nilai BOD (Metcalf & Eddy et al, 2014). Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 300mg/L, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100mg/L.

2.2.3 Total Suspended Solids (TSS)

Padatan tersuspensi total atau Total Suspended Solid (TSS) merupakan residu dari padatan total (Total Solid/TS) yang tertahan saringan dengan ukuran maksimal partikel sebesar 2 μ m dan lebih besar dari ukuran koloid. TSS menyebabkan air menjadi keruh karena padatan jenis ini tidak terlarut dalam air serta tidak dapat mengendap secara langsung. Secara umum TSS disebabkan oleh partikel yang memiliki berat maupun ukuran lebih kecil dari sedimen seperti tanah liat, bahan organik tertentu, sel mikroorganisme, dan sebagainya (Nasution, 2008). Partikel yang dapat digolongkan kedalam TSS antara lain tanah liat, lumpur, sulfida, ganggang, logam oksida, bakteri dan jamur (Tarigan, 2021). Umumnya TSS dapat di removal dengan menggunakan unit filtrasi serta flokulasi. Kandungan TSS yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 100mg/L.

2.2.4 Derajat Keasaman (pH)

Parameter pH menunjukkan tingkat keasaman atau kekuatan asam dan basa dalam badan air. Derajat keasaman air sangat penting untuk menentukan nilai daya guna perairan yang baik bagi keperluan rumah tangga, irigasi, kehidupan organisme perairan dan kepentingan lainnya. Faktor yang mempengaruhi pH antara lain aktivitas biologis misal fotosintesis dan respirasi organisme, serta suhu dan keberadaan ion-ion dalam perairan (Farida et al, 2017). pH (derajat keasaman) mempengaruhi tingkat kesuburan perairan karena pengaruhnya terdapat kehidupan jasad renik.

pH dapat diukur berdasarkan jumlah ion hidrogen dengan rumus:

$$\text{pH} = -\log_{10} (\text{H}^+)$$

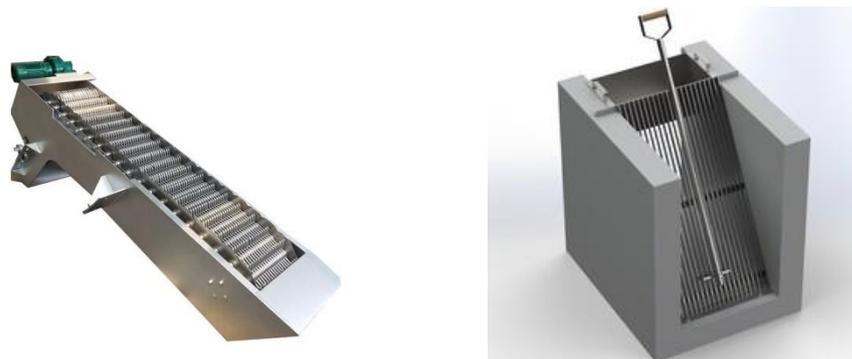
Air murni dengan kandungan ion H^+ dan OH^- dalam jumlah seimbang akan menghasilkan pH 7 netral. Apabila jumlah kandungan OH^- dalam air makin banyak, maka nilai pH air tersebut juga akan tinggi (basa), begitu pula sebaliknya apabila kandungan ion H^+ dalam air makin tinggi maka pH air tersebut akan makin rendah (asam) (Andayani, 2005). pH netral yang diizinkan dalam baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 yaitu sebesar 6 sampai 9.

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

2.3.1 Barscreen

Barscreen digunakan dalam pengolahan air baik air limbah maupun air bersih. *Barscreen* berfungsi untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran $>0,5 - 1$ cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Umumnya unit *screen* dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (*inlet*) dengan kemiringan $30^\circ - 45^\circ$ dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Screen digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan perlengkapan lainnya dari kerusakan atau penyumbatan oleh kain dan benda besar (Metcalf & Eddy, 2003). Peran utama screening adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu: (1) merusak peralatan unit pengolahan berikutnya; (2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan (3) mencemari saluran air. 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 (Reynolds & Richards, 1996).



Gambar 2. 1 (a) Automatic bar screen, (b) Manually bar screen

(Sumber: Wikipedia.org)

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 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	23 – 38
Jarak antar batang	1,0 - 2,0	0,6 – 3,0	25 – 50	15 - 75
Parameter lain				
Kemiringan thd vertical (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	6 m	5 – 24 m	150 mm	150 – 600 mm

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

2.3.2 Netralisasi

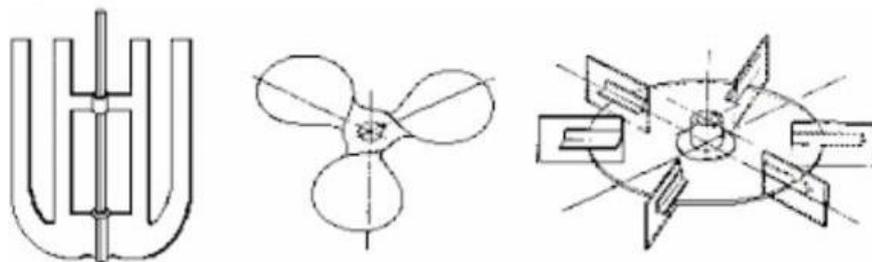
Proses netralisasi bertujuan untuk melakukan perubahan derajat keasaman (pH) air limbah atau air buangan industri. Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu 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. Karena kurang efektif maka dilakukan proses netralisasi (Eckenfelder & Jr., 2000). 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

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):

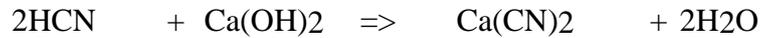
1. *Paddle* dengan putaran 2 – 150 rpm
2. *Turbine* dengan putaran 10 – 150 rpm
3. *Propeller* dengan putaran 150 – 15000 rpm



Gambar 2. 2 a) *Paddle Impeller* b) *Propeller Impeller* c) *Turbine Impeller*

Pada limbah cair tepung tapioka terdapat kandungan sianida dalam bentuk HCN yang berbahaya dan beracun bagi lingkungan. Alternatif pengolahan sianida dalam air limbah salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan metode Netralisasi. Adanya HCN pada air limbah membuat air menjadi asam, sehingga

perlu penambahan basa untuk penetralan pH dan pengolahan sianida. Pada jurnal digunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dengan reaksi sebagai berikut (Jeklin, 2016).



Penurunan HCN terjadi karena reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Ion sianida merupakan ion yang sangat reaktif, bila berikatan dengan logam akan membentuk garam kompleks yang stabil. Garam sianida dan larutan sianida memiliki toksisitas yang lebih rendah dibanding hidrogen sianida. Hal ini disebabkan karena garam sianida dan larutan sianida dapat masuk ke dalam tubuh hanya melalui ingesti. Kompleks sianida yang stabil jika tidak melepaskan sianida bebas tidak akan bersifat toksik (Jeklin, 2016). Dalam melakukan perencanaan unit netralisasi diperlukan kriteria perencanaan yang dapat digunakan sebagai acuan ketika melakukan perencanaan, berikut merupakan kriteria perencanaan dari unit netralisasi:

- Waktu detensi (Td) = 20 – 60 detik (bak netralisasi)
- Gradien kecepatan (G) = 700 – 1000 /detik
- Diameter *Paddle* (Di) = 30 – 80 % dari Diameter bak
- Lebar *Paddle* (Wi) = 1/6 – 1/10 Diameter paddle
- Kecepatan putaran *Paddle* (n) = 20 – 150 rpm
- Kedalaman bak (H) = 1-1.25 D/W
- *Reynold number* (RNe) = >10000
- Kecepatan pipa *Outlet* (v) = 1 – 1.25 m/s
- Jenis *Impeller* = *Flat paddles, 2 blades (single paddle)*
- Koefisien Turbulen (KT) = 2.25

(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 182 -187)

- pH = 6 – 9
- Konsentrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = 20%

(Sumber: SNI 6774:2008 tentang Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air)

2.3.3 Koagulasi-Flokulasi

A. Koagulasi

Koagulasi biasa didefinisikan sebagai suatu proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan juga virus dengan suatu koagulan, sehingga terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan. Koagulan atau flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi dengan tujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk men-destabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012). Pada tabel dibawah ini dapat dilihat berbagai macam koagulan yang umum digunakan dalam pengolahan air.

Tabel 2. 3 Jenis-jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium Sulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot X H_2O$ $x = 14,16,18$	Bongkah, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium Aluminate	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	$Al_n(OH)_mCl_{3-n-m}$	Cairan, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferric Sulfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal Halus	Asam	4 – 9
Ferri Klorida	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, Cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kristal Halus	Asam	>8,5

(Sumber: Sugiarto, 2006)

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis

koagulan yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulan, yaitu:

1. Pengaruh pH

Pada koagulan terdapat range pH optimum. Luasnya range pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 6-9.

2. Pengaruh Temperatur

Pada temperatur yang rendah reaksi lebih lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.

3. Dosis Koagulan

Dosis koagulan terhadap air yang mempunyai kekeruhan rendah, akan lebih kecil dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan yang tinggi, kemungkinan terjadinya tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflokk yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.

4. Pengadukan (*Mixing*)

Pengadukan atau *Mixing* diperlukan supaya terjadi tumbukan antar partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Distribusi dalam air cukup baik dan merata, serta masukan energi yang cukup untuk tumbukan antara partikel yang telah netral sehingga terbentuk mikroflokk. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukan dengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.

5. Pengaruh Garam

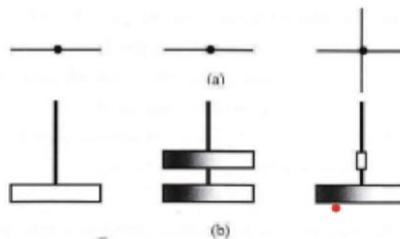
Garam dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion, semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibanding dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Patimah, 2009).

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatic. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (balong-balong) masing-masing memiliki kriteria impeller yang berbeda.

Tabel 2. 4 Kriteria Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi	Ket
Paddle	20 – 150 rpm	Diameter 50 – 80% lebar bak Lebar 1/6 – 1/10 diameter paddle	
Turbine	10 – 150 rpm	Diameter 30 – 50% lebar bak	
Propeller	400 – 1750 rpm	Diameter maks. 45 cm	Jumlah pitch 1 – 2 buah

(Sumber: Reynolds & Richard, 1996:185)



Gambar 2. 3 Tipe Paddle (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping

(Sumber: Maduqi & Assomadi, 2012)



Gambar 2. 4 Tipe Turbin

(Sumber: Qasim et al., 2000)



Gambar 2. 5 Tipe Propeller (a) 2 Blade (b) 3 Blade

(Sumber: Qasim et al., 2000)

Adapun beberapa faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td . Nilai waktu pengadukan mekanis dan gradient kecepatan dapat dilihat dalam **Tabel 2.6** di bawah ini:

Tabel 2. 5 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis Dan Gradient Kecepatan

Waktu pengadukan, td (detik)	Gradient Kecepatan (detik^{-1})
20	1000
30	900
40	790
≥ 50	700

(Sumber: Reynolds & Richard, 1996:184)

Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (power) yang dibutuhkan harus memperhatikan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta K_L dan K_T .

Tabel 2. 6 Konstanta K_L dan K_T Untuk Tangki Berserat

Jenis 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

Jenis Impeller	KL	KT
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddles), $D_i/W_i=4$	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=6$	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=8$	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i=6$	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i=8$	71,0	3,82

(Sumber: Reynolds & Richard, 1996,188)

B. Flokulasi

Flokulasi adalah sebuah proses dengan mengadakan kontak antara partikel koloid yang mengalami destabilisasi pada proses koagulasi sebelumnya sehingga ukuran partikel bisa bertambah lebih besar (Faryandi, 2020). Dalam proses flokulasi terjadi penyatuan flok yang terbentuk dari proses koagulasi menjadi lebih besar. Proses flokulasi terjadi pengadukan lambat sehingga membentuk flok yang lebih besar dan mudah diendapkan. (Lolo et al., 2020).

Fungsi dari proses flokulasi sendiri yakni sebagai pengoptimalan laju kontak antara partikel yang terdestabilisasi (Utaminigrum, 2018). Pada proses flokulasi sendiri menggunakan flokulan. Flokulan yakni bahan kimia yang berguna untuk membentuk flok menjadi besar dan stabil (Setiyono, 2014).

Berdasarkan Critenden 2012, flokulasi dibedakan menjadi dua (Utaminigrum, 2018):

- a. Mikroflokulasi Terjadi ketika partikel teragregasi karena termal acak dari molekul-molekul cairan yang disebut Brownian Motion. Mikroflokulasi terjadi pada partikel yang kecil (kurang dari 0,1 μm).
- b. Makroflokulasi Terjadi ketika partikel teragregasi karena adanya peningkatan gradien kecepatan sehingga menyebabkan tabrakan antara partikel tersuspensi.

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 s^{-1}) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan *camp*) berkisar 48.000 hingga 210.000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi yaitu:

1. Air sungai
 - Waktu detensi = minimum 20 menit
 - $G = 10 - 50 \text{ s}^{-1}$
2. Air waduk
 - Waktu detensi = 30 menit
 - $G = 10 - 75 \text{ s}^{-1}$
3. Air keruh
 - Waktu detensi dan G lebih rendah
4. Menggunakan koagulan garam besi
 - G tidak lebih dari 50 s^{-1}
5. Flokulator terdiri dari 3 kompartemen
 - G kompartemen 1: nilai terbesar
 - G kompartemen 2: 40% dari G kompartemen 1
 - G kompartemen 3: nilai terkecil
6. Penurunan kesadahan
 - Waktu detensi = 30 menit
 - $G = 10 - 50 \text{ s}^{-1}$
7. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)
 - Waktu detensi = 15 - 30 menit

$$- G = 20 - s^{-1} - GTd = 10.000 - 100.000$$

(Masduqi & Assomadi, 2012: 110)

2.3.4 Bak Pengendap/Sedimentasi

Bak pengendap/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. Sebagai contoh ialah pengendapan koagulasi-flokulasi (Masduqi & Assomadi, 2012). 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:

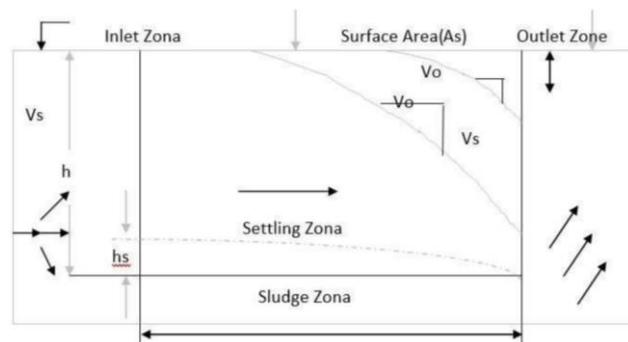
1. Aliran angin.
2. Suhu udara permukaan.
3. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air.
4. Suhu terstratifikasi dari iklim.
5. Bilangan eddy

Sedimentasi adalah unit operasi yang didesain untuk mengumpulkan dan memindahkan padatan tersuspensi dari air limbah dengan cara gravitasi. Sedimentasi berguna untuk memisahkan pasir, partikel yang besar, dalam kolam pengendapan utama, biological flok pada kolam pengendapan lumpur aktif, dan menghilangkan flok kimiawi ketika proses koagulasi senyawa kimia digunakan. Ini juga digunakan untuk mengumpulkan padatan yang ada di *thickening*. Di banyak kasus, tujuan utama adalah untuk menghasilkan effluen yang jernih, tetapi ini juga penting untuk menghasilkan lumpur dengan konsentrasi padatan yang dapat mempermudah penanganan dan pengolahan. Sementara itu, Bak pengendap II berfungsi untuk mengendapkan zat padat yang terdapat dalam air buangan setelah melalui pengolahan biologis. Bak pengendap ini dilengkapi dengan pengeruk lumpur mekanis. Lumpur yang terkumpul dipompakan ke unit pengolahan lumpur (Asmadi, 2012).

Desain bak pengendap ada beberapa jenis yaitu:

- 1) Bentuk persegi (*Rectangular*) Distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003): a. Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan, b. Saluran inlet dengan port dan orifice, c. Saluran inlet dengan lebar bukaan dan slotted baffles.
- 2) Bentuk lingkaran (*Circular*) Pada tangki circular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur lingkaran yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumur biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1-2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial agar proses pengendapan dapat berjalan dengan efektif (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Adapun zona – zona tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 6 Zona-zona Bak Sedimentasi

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Pada setiap zona terjadi proses sebagai berikut:

1. Zona Inlet, terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)
2. Zona *Settling*, terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya
3. Zona *Sludge*, sebagai ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.
4. Zona Outlet, pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

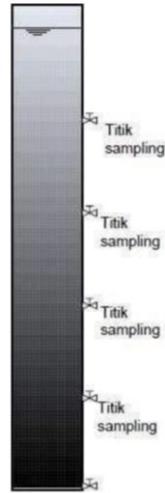
Unit sedimentasi memiliki pengaplikasian utama pada instalasi pengolahan air. Pengaplikasian utama tersebut meliputi:

- a) Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat.
- b) Pengendapan air yang telah melalui proses prasedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat.
- c) Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan desinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa dosing oleh alum, soda, NaCl, dan *chlorine*.
- d) Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan.

Pada proses pengendapan yang terjadi di dalam bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan oleh konsentrasi dari partikel dan kemampuan partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu antara lain:

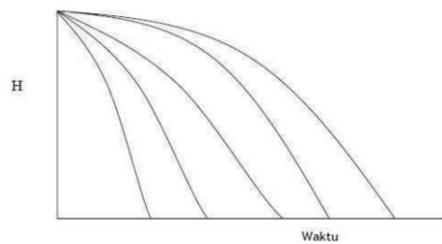
- a) Pengendapan tipe I (*free settling*)
- b) Pengendapan tipe II (*flocculent settling*)
- c) Pengendapan tipe III (*zone/hindered settling*)
- d) Pengendapan tipe IV (*compression settling*)

Kecepatan pengendapan partikel tidak dapat ditentukan dengan persamaan *Stoke's* karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besarnya partikel yang mengendap diuji dengan *column settling test* dengan *multiple withdraw ports*. Dengan menggunakan kolom pengendapan tersebut, sampling dilakukan pada setiap port pada interval waktu tertentu, dan data removal partikel diplot pada grafik.



Gambar 2. 7 Kolom Test Sedimentasi Tipe II

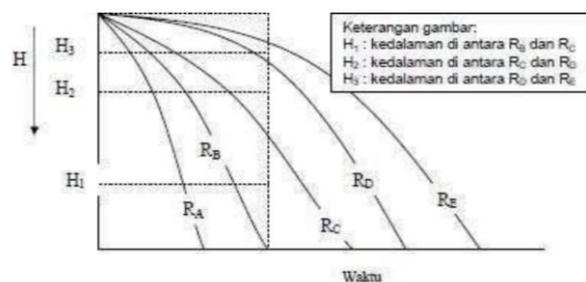
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)



Gambar 2. 8 Grafik Isoremoval

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Grafik isoremoval digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu titik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tersebut. Dapat menentukan kedalaman H_1 , H_2 , H_3 .



Gambar 2. 9 Penentuan Kedalaman H

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Besarnya penyisihan total pada waktu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R = R_B + \frac{H_1}{H} (R_C - R_B) + \frac{H_2}{H} (R_D - R_C) + \frac{H_3}{H} (R_E - R_D)$$

Grafik isoremoval juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan *surface loading* dan *overflow rate* bila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu. Langkah yang dilakukan adalah:

1. Menghitung penyisihan total pada waktu tertentu, minimal sebanyak tiga variasi waktu (mengulangi Langkah diatas minimal 2 kali).
2. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagian sumbu y) dengan waktu pengendapan (sebagai sumbu x).
3. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan *overflow rate* (sebagai sumbu x).

Kedua grafik ini digunakan untuk mennetukan waktu pengendapan atau waktu detensi (t_d) dan *overflow rate* (V_o) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen di laboratorium (secara *batch*). Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain bak pengendap (aliran kontinu) setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor *scale up*. Untuk waktu detensi, faktor *scale up* yang digunakan pada umumnya adalah 1,75 dan untuk *overflow rate*, faktor *scale up* yang digunakan pada umumnya adalah 0,65 (Reynolds & Richards, 1982). Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan:

a. *Horizontal-flow Sedimentation*

Desain pada bangunan ini dapat mengurangi lebih dari 95% kekeruhan air. Bentuknya yang *rectangular* tanpa menggunakan alat pengambil lumpur mekanik mempunyai beberapa keuntungan misalnya, mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan kondisi air seperti perubahan kekeruhan, laju aliran yang meningkat ataupun debit air yang meningkat secara tiba-tiba. Sedangkan pada bentuk yang *circular* biasanya menggunakan pengambil lumpur mekanik. Cara kerja dari bak sedimentasi berbentuk *rectangular* (persegi panjang) yaitu, air

yang mengandung flok akan masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona *settling* melalui *baffle*/sekat agar alirannya menjadi laminar. Di zona *settling* partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet. Adapun keuntungan penggunaan jenis bak *horizontal-flow* dibandingkan dengan *up flow* adalah lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air:

- Prosesnya memberikan bentuk yang dapat direncanakan sesuai dengan operasional dan kondisi iklim
- Biaya konstruksi murah
- Operasional dan perawatannya mudah Adapun kriteria desainnya jumlah air yang akan diolah (Q), waktu detensi, luas permukaan dan kecepatan pengendapan.

b. *Upflow Sedimentation*

Bangunan tipe ini biasanya digunakan bila debit air konstan dan kualitas kekeruhan tidak lebih dari 900 NTU. Kelemahan dari bangunan ini adalah tidak bisa digunakan bila kapasitasnya berlebih dan memerlukan tenaga ahli untuk mengoperasikannya. Bila dalam suatu bangunan pengolahan air lahannya terbatas bisa digunakan tipe ini untuk bak sedimentasinya karena lahan yang diperlukan untuk bangunan ini relatif kecil. Semakin besar angka BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air semakin besar (Sugiharto, 2008). Pengotoran air mengandung bahan-bahan organik, merusak kehidupan air serta menimbulkan bau.

Salah satu cara untuk menurunkan polutan yaitu dengan teknologi pengolahan yang dapat dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia untuk menetralkan keadaan dan meningkatkan pengurangan dari partikel kecil yang tercampur dilanjutkan dengan proses pengendapan untuk mengurangi bahan *organic*, proses ini dikenal dengan proses koagulasi yang bertujuan untuk memisahkan koloid yang sangat halus di dalam air, menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat diendapkan, disaring atau diapungkan. Dengan berkurangnya bahan organik terlarut akan menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut sehingga

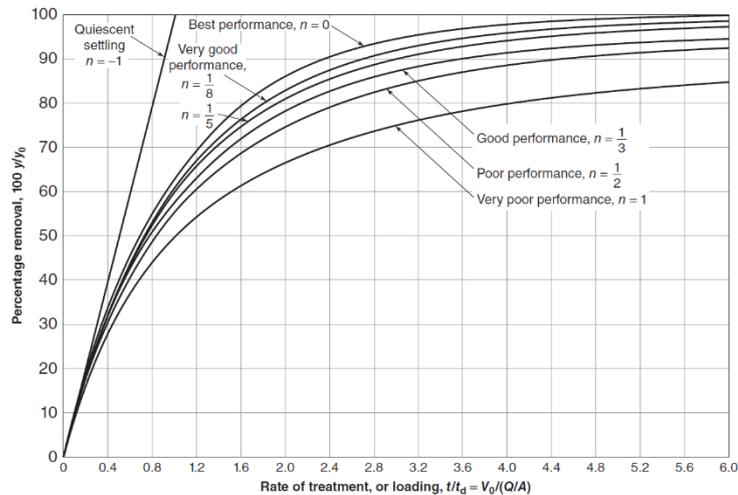
nilai BOD akan menurun. Menurut Metcalf & Eddy (2003), adanya waktu tinggal, penambahan bahan kimia, serta pengadukan sebelum unit sedimentasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan BOD sekitar 50-80%. Efisiensi pengendapan partikel flokulan dipengaruhi oleh *overflow rate*, *detention time* dan kedalaman bak pengendap. Pengaruh dari faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

- *Detention time* (t)
- *Over flow rate*

Dalam bangunan sedimentasi ini terdapat kriteria desain yang dapat digunakan dalam mempermudah desain. Adapun kriteria desain tersebut adalah sebagai berikut:

- Kedalaman air = 3 – 4,5 m
- Kecepatan aliran = 0,3 – 1,7 m/min
- Waktu detensi = 1,5 – 4 Jam
- *Surface loading* = 1,25 – 2,5 m/jam
- Panjang/lebar = minimum $\frac{1}{4}$
- Kedalaman air/panjang = minimum $\frac{1}{15}$
- *Weir loading rate* = 9 – 13 m³ /m.jam

Bak sedimentasi dapat berupa *circular*, *rectangular* atau *square* dengan kedalaman 2-5 m. Dimana *rectangular* mempunyai panjang sampai 50 m dan lebar 10 m sedangkan *square tank* mempunyai panjang $\pm 2,5$ m. Slope ruang lumpur berkisar antara 2% - 6%, bilangan Reynolds < 2000 agar aliran laminar.



Gambar 2. 10 Grafik Kecepatan Pengendapan Partikel pada Sedimentasi

(Grafik Shammam, 2016. Halaman 448)

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 26 (Metcalf & Eddy et al., 2007). Adapun kriteria perencanaan untuk bangunan bak pengendap awal adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Kriteria Perencanaan Pengendap Awal

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimal	H	3 – 4,9	m	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Hal 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	3-5	jam	
6.	<i>Overflow Rate</i> Rata-rataPuncak	-	30-50 80-120	m ³ /m ² .hari	

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
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 et al., 2007)
9.	Kecepatan Aliran Menuju <i>inlet well</i>	V	0,3-0,75	m/s	Hal 401
10.	Konsentrasi Solid	-	4-12	%	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Halaman 398
11.	Suhu	T	30	°C	
12.	Viskositas Kinematis	V	0,8x10 ⁶	m ² /s	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
13.	Viskositas Absolut	μ	0,798x10 ⁻³	m ² /s	
14.	Massa Jenis Air (T=30°C)	ρ _{air}	0,99568	g/cm ³	Hal 1742
15.	Bilangan Reynold (NRE)	NRE	<1 (Laminer)	-	(Reynolds & Richards, 1996) Hal 224
16.	<i>Spesific Gravity Solid (Si)</i>	Si	1,4	-	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Hal 1456

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
17.	<i>Spesific Gravity Sludge (Sg)</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.	Koef. Kekasaran Aksesoris Pipa	K	Elbow =1,1, Tee Lurus = 0,35, Tee Cabang =1 <i>Gate Valve</i> = 0,2	-	(M.Noerba mbang& Morimura, 2005) Halaman 76

Sumber: literatur tertera pada tabel

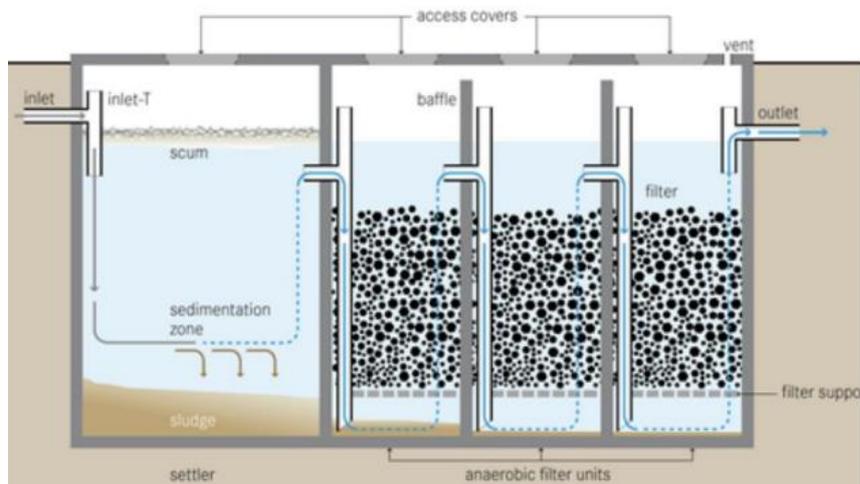
2.3.5 Biofilter Anaerob – Aerob

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media biofilter sebagai tempat tumbuh bakteri (*attached growth*) yang bersifat anaerobik dan aerobik. Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya di isi dengan media penyangga untuk pengembang-biakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tersebut dapat dilakukan dalam kondisi aerobik, anaerobik atau kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses aerobik dilakukan dengan kondisi adanya

oksigen terlarut di dalam reaktor air limbah, dan proses anaerobik dijalankan dengan tanpa adanya oksigen dalam reaktor air limbah (Asmadi, 2012).

Proses pengolahan air limbah dengan proses Biofilter Anaerob-Aerob adalah dengan permulaan seluruh air limbah dialirkan masuk ke bak pengumpul atau bak ekualisasi, selanjutnya dari bak ekualisasi air limbah dipompa ke bak pengendap awal, untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir dan kotoran organik tersuspensi. Selain sebagai bak pengendapan, juga berfungsi sebagai bak pengontrol aliran, serta bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, *sludge digestion* (pengurai lumpur) dan penampung lumpur. Air limpasan dari bak pengendap awal selanjutnya dialirkan ke bak kontaktor anaerob dengan arah aliran dari atas ke bawah, dan, dari bawah ke atas. Di dalam bak kontaktor anaerob tersebut diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon. Jumlah bak kontaktor anaerob terdiri dari tiga buah ruangan. Pengurai zat-zat organik yang ada dalam air limbah dilakukan oleh bakteri anaerobic atau facultatif aerobik. Setelah beberapa hari operasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikro-organisme. Mikro-organisme inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap. Air limpasan dari bak kontaktor anaerob dialirkan ke bak kontaktor aerob.

Di dalam bak kontaktor aerob ini diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon, bersertaan diaerasi atau dihembus dengan udara sehingga mikro organisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media. Dengan demikian air limbah akan kontak dengan mikro-organisme yang tersuspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi pengurangan zat organik, detergen serta mempercepat proses nitrifikasi, proses ini sering di namakan Aerasi Kontak (*Contact Aeration*) (Asmadi, 2012).



Gambar 2. 11 Tampak Samping Biofilter

(Sumber: Tilley et all, 2014)

Tabel 2. 8 Kelebihan dan Kekurangan Unit Biofilter

Kelebihan	Kekurangan
Mampu menghilangkan konsentrasi BOD, COD, dan parameter <i>organic</i> lain dengan efektivitas yang tinggi.	Sangat efektif apabila dirancang dengan menggunakan sistem <i>upflow</i>
Mampu menghilangkan/mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi (TSS), detergen, amonium, dan fosfor	Membutuhkan waktu picu (<i>starter time</i>) yang lebih lama
Pengelolaan, maintenance yang mudah dan praktis tanpa memerlukan tenaga ahli	Apabila banyak terdapat padatan limbah yang masuk dapat menimbulkan penyumbatan
Biaya operasi unit yang rendah (tingkat aerasi rendah) dan tidak memerlukan lahan yang luas	Tidak tahan terhadap minyak dan lemak (<i>grease</i>)
Dibandingkan dengan unit <i>activated sludge</i> , lumpur yang dihasilkan lebih sedikit	

Kelebihan	Kekurangan
Digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun tinggi (Maryani, 2016).	

Sumber: (Kaswinarni, 2007)

Menurut Reuter (2009), baik biofilter anaerobik dan aerobik memiliki kriteria desain sebagai berikut (Reuter et al., 2009):

- Beban Permukaan = 20-50 m³/m².hari
- HRT di bak pengendap / tangki septik = 2 jam HRT di anaerobik Filter = 1,5-2 hari Penyisihan BOD = 70-90%
- Rasio SS/BOD = 0,35-0,45
- Luas Spesifik Media = 80-180 m²/m³
- *Velocity Upflow* = < 2 m/jam

Menurut Nusa Idaman Said (2005) kriteria desain lain untuk media biofilter aerob dan anaerob adalah sebagai berikut (Said, 2005):

Biofilter Anaerob

- Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam
- Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
- Beban BOD/volume media = 0,5 – 4,0 kg BOD /m³.hari
- Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m².hari
- Tinggi bed media pembiakan mikroba = 0,9 – 1,5 m
- Media Biofilter
- Tipe = sarang tawon
- Material = PVC Sheet
- Ketebalan = 0,15 – 0,23mm
- Luas kontak spesifik = 150 – 226m²/m³
- Diameter lubang = 3cm x 3cm
- Berat spesifik = 30 – 35 kg/m³
- Porositas rongga = 0,98

Biofilter Aerob

- Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam 24
- Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
- Beban BOD/volume media = 0,5 – 4 kg BOD /m³.hari
- Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m².hari
- Tinggi bed media pembiakan mikroba = 1,2 m
- Media Biofilter Aerob
- Tipe = Sarang Tawon
- Material = PVC Sheet
- Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
- Luas Kontak Spesifik = 150 – 226 m²/m³
- Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
- Berat Spesifik = 30 – 35 kg/m³
- Porositas Rongga = 0,98
- Blower Udara
- Densitas udara = 1,2kg/m³
- Berat aliran udara (w) = 85-1700m³/menit
- Tekanan absolut outlet (P2) = 25lb/in² = 1,7 atm
- Tekanan absolut inlet (P1) = 14,7 lb/in² = 1 atm
- Konstanta Udara = 8,314 kJ/mol.K
- K = 1,395
- N = 0,28
- Efisiensi = 70-90%

Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 304-311

2.3.6 Clarifier

Sedimentasi adalah unit operasi yang didesain untuk mengumpulkan dan memindahkan padatan tersuspensi dari air limbah dengan cara gravitasi. Sedimentasi berguna untuk memisahkan pasir, partikel yang besar, dalam kolam pengendapan utama, *biological flok* pada kolam pengendapan lumpur aktif, dan menghilangkan flok kimiawi ketika proses koagulasi senyawa kimia digunakan. Ini juga digunakan untuk mengumpulkan padatan yang ada di *thickening*. Di banyak

kasus, tujuan utama adalah untuk menghasilkan effluen yang jernih, tetapi ini juga penting untuk menghasilkan lumpur dengan konsentrasi padatan yang dapat mempermudah penanganan dan pengolahan.

Sementara itu, *clarifier* adalah pemisahan liquid-solid akan efektif bila salah satu dari kedua zat yang akan dipisahkan berbeda densitasnya. Pemisahan liquid-solid ini menggunakan bantuan gaya gravitasi atau *sentrifugal*. Penggunaan gaya gravitasi atau *sentrifugal* atau penyaringan sangat bergantung pada bentuk dan ukuran partikel. Teknik pemisahannya juga bergantung pada, konsentrasi solid, kecepatan umpan masuk, ukuran partikel solid, dan bentuk partikel solid. Salah satu teknologi yang umum digunakan pada proses pemisahan liquid-solid adalah dengan menggunakan metoda klarifikasi dengan menggunakan alat yang bernama clarifier (Denny Surindra et al., 2022).

Pada unit *Clarifier* terjadi pengadukan lambat. Jenis pengadukan lambat pada *Clarifier* adalah jenis pengadukan hidrolis memanfaatkan piringan berlubang. Fungsi dari piringan berlubang yaitu untuk memecah aliran dalam menciptakan efek pengadukan. Pada proses pengadukan lambat, energi hidrolis yang dibutuhkan cukup kecil agar menghasilkan gerakan air yang mendorong kontak antar partikel tanpa menyebabkan terpisahnya gabungan flok yang telah terbentuk. Penggabungan inti gumpalan sangat tergantung pada gradien kecepatan (Anhar et al., 2021).



Gambar 2. 12 Clarifier Tank

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.

2.3.7 Pengolahan Lumpur dan *Sludge Drying Bed*

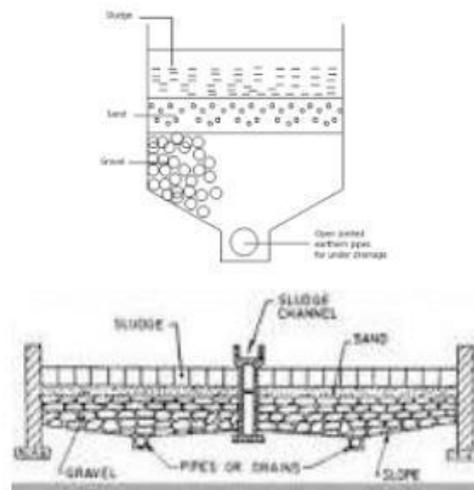
Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah domestik. Pengolahan lumpur memiliki beberapa tujuan, yakni mengurangi kadar air, menstabilkan, serta menghilangkan mikroorganisme patogen yang berpotensi terkandung di dalam lumpur. Hal ini dilakukan 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 (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*. *Sludge drying bed* 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) **Bak Pengering Lumpur (*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. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *sludge drying bed* (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2. 13 *Sludge Drying Bed*

(Sumber: Metcalf and Eddy, 2007)

Pipa inlet pada bangunan *sludge drying bed* harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran *sludge* dilakukan dengan mengalirkan

air tegak lurus dengan posisi *sludge drying bed* guna mengurangi kecepatan alir saat *sludge* memasuki bangunan pengering.

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 2. 9 Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Tebal pasir	23-30	cm	Qasim, 1985
2.	Tebal kerikil	20-30	cm	
3.	Sludge loading rate	100-300	kg/m ² .tahun	
4.	Tebal bed	20-30	cm	
5.	Lebar bed	5-8	m	
6.	Panjang bed	6-30	m	
7.	Waktu pengeringan	10-15	hari	
8.	Uniformity coefficient	<4		
9.	Effective size	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 lumpur	200-300	mm	

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
13.	Kecepatan Pipa Underdrain	0,75	m/detik	Metcalf & Eddy 4 th Edition., 2003
14.	Diameter Pipa Underdrain	>100	Mm	
15.	Koef. Keseragaman	<4	-	
16.	Ukuran Efektif	0,3-0,785	%	
17.	Slope	>1	%	
18.	Rasio lebar:panjang	6:6-30	-	

(Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018)