



Professorline
Publisher

Perencanaan Bangunan Pengolah Air Limbah

Habibi Palippui | Rasdiana Zakaria | Hasdinar Umar

**Habibi Palippui
Rasdianan Zakariah
Hasdinar Umar**

PERENCANAAN BANGUNAN PENGOLAH AIR LIMBAH



PERENCANAAN BANGUNAN PENGOLAH AIR LIMBAH

Penulis : **Habibi Palippui, Rasdiana Zakariah, Hasdinar Umar**

Penyunting : **Marwati, S.Sos.**

Tata sampul : **Rezkiawati, S.Pd.**

Tata isi : **Asjmi, ST.**

Cetakan Pertama, **September 2023**

ISBN **xxx-xxx-xx-xxxx-x**

Penerbit **Professorline**

🏠 Jl. Dg. Ngadde Raya, Parangtambung, Makassar,
Sulawesi Selatan, Indoneisa

✉ professorline123@gmail.com
adminbook@professorline.com

☎ +62 853-4177-7525

🌐 www.professorline.com

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku
baik secara elektronik maupun mekanik tanpa izin tertulis

Penerbit Professorline.

KATA PENGANTAR

Selamat datang di dunia yang menakjubkan dari Perencanaan Bangunan Pengolah Air Limbah. Buku ini adalah petualangan pengetahuan yang telah dirancang khusus untuk membantu Anda menjelajahi dan memahami berbagai aspek penting dalam bidang ini.

Dengan menggunakan bahasa yang mudah dipahami dan dilengkapi dengan ilustrasi visual, buku ini bertujuan untuk membawa Anda dalam perjalanan melalui konsep-konsep yang rumit dengan cara yang sederhana dan menarik. Kami percaya bahwa setiap perjalanan pengetahuan dimulai dengan penjelasan yang baik, dan itulah yang kami coba lakukan di sini.

Setiap bab di buku ini diakhiri dengan rangkuman dan soal latihan, memberikan Anda kesempatan untuk menguji pemahaman Anda dan memperkuat pengetahuan yang telah Anda pelajari. Kami mendorong Anda untuk memanfaatkan fitur ini sebaik mungkin, sebagai langkah penting dalam perjalanan belajar Anda.

Kami berharap buku ini dapat menjadi kompas pengetahuan bagi Anda, baik untuk studi mandiri maupun sebagai bahan ajar di kelas. Selamat belajar, dan semoga Anda menemukan harta karun pengetahuan baru yang bermanfaat dalam halaman-halaman buku ini.

Buku ini juga dirancang untuk menjadi peta harta karun bagi praktisi profesional dalam bidang pengolahan air limbah. Dengan penjelasan mendalam tentang berbagai teknik dan metode, buku ini dapat membantu Anda dalam merencanakan dan mengimplementasikan solusi pengolahan air limbah yang efektif.

Terima kasih telah memilih buku ini sebagai panduan Anda dalam mempelajari Perencanaan Bangunan Pengolah Air Limbah. Kami berharap Anda menikmati membaca dan belajar dari buku ini sebanyak kami menikmati membuatnya.

Akhirnya, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang telah berkontribusi dalam pembuatan buku ini. Tanpa dedikasi dan kerja keras mereka, buku ini tidak akan mungkin ada. Kami berharap bahwa usaha mereka akan membantu Anda dalam perjalanan belajar Anda. Kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku ajar ini, khususnya kepada para reviewer yang telah memberikan masukan dan kritik

yang konstruktif. Penulis juga mengharapkan saran dan koreksi dari pembaca untuk perbaikan buku ajar ini di masa mendatang.

Makassar, September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATAPENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB I SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH SECARA FISIK-KIMIA.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sumur Pengumpul (Bak Ekualisasi)	3
1.3 Saringan Sampah (Bar screen)	6
1.4 Bak Penangkap Pasir (Grit chamber).....	12
1.5 Bak Pengendap/Sedimentasi I dan II	19
1.6 Netralisasi dan Presipitasi.....	27
1.7 Koagulasi dan Flokulasi	29
1.8 Desinfeksi.....	37
1.9 Soal Latihan	40
1.10 Kesimpulan.....	41
BAB II SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH SECARA BIOLOGIS	45
2.1 Pendahuluan	45
2.2 Kolam Aerasi (Aerated Lagoon)	47
2.3 Kolam Aerasi Fakultatif	54
2.4 Proses Pengolahan Lumpur Aktif (Activated sludge)	59
2.5 Kolam Aerasi Ekstensif (Extended aeration)	65
2.6 Parit Oksidasi (Oxidation ditch)	68
2.7 Filter Anerobik/Aerobik.....	78
2.8 Upflow anaerobic sludge blanket.....	83
2.9 Kolam Anaerobik.....	90
2.10 Anaerobic baffled (ABR)	96
2.11 Soal Latihan	99
2.12 Kesimpulan.....	100
BAB III UNIT PENGOLAHAN AWAL (PRE-TREATMENT)	104
3.1 Pendahuluan	104
3.2 Bak Ekualisasi dan Bak Pengumpul	105
3.3 Bak Pemisah Minyak dan Lemak	113
3.4 Soal Latihan	117

3.5 Kesimpulan.....	118
BAB IV UNIT PENGOLAHAN TINGKAT PERTAMA (PRIMARY TREATMENT).....	120
4.1 Pendahuluan	120
4.2 Netralisasi.....	124
4.3 Flokulasi dan Koagulasi	131
4.4 Flotasi	138
4.5 Sedimentasi.....	144
4.6 Filtrasi	152
4.6.1 Jenis-jenis Filtrasi.....	152
4.6.2 Pentingnya Filtrasi dalam Pengolahan Air Limbah	155
4.6.3 Metode-Metode Filtrasi dalam Pengolahan Air Limbah	156
4.6.4 Perawatan dan Pembersihan Filter	159
4.7 Soal Latihan	160
4.8 Kesimpulan.....	161
BAB V UNIT PENGOLAHAN TINGKAT KEDUA (SECONDARY TREATMENT).....	164
5.1 Pendahuluan	164
5.2 Teknologi Pengolah Air Limbah dengan Proses Tersuspensi...169	
5.2.1 Lumpur Aktif	170
5.2.2 Step aeration	172
5.2.3 Contact Stabilization	173
5.2.4 High Aeration	174
5.2.5 Pure oxygen Process.....	175
5.2.6 Oxidation ditch	177
5.3 Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biakan Massa Melekat 178	
5.3.1 Tricking filter	182
5.3.2 Rotating Biological Contractor (RBC).....	183
5.3.3 Biofilter Anaerobik	185
5.3.4 Contact Aeration Process	186
5.4 Soal Latihan	187
5.5 Kesimpulan.....	188

BAB VI UNIT PENGOLAHAN TINGKAT LANJUTAN (TERTIARY TREATMENT).....	190
6.1 Pendahuluan	190
6.2 Ion Exchange	192
6.3 Teknologi Membran	195
6.4 Pengolahan Lumpur (Thickening Digestion)	199
6.5 Sludge Drying bed.....	208
6.6 Soal Latihan	214
6.7 Kesimpulan.....	215
BAB VII PERENCANAAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH SETEMPAT DAN KOMUNAL	218
7.1 Pendahuluan	218
7.2 Pengolahan Air Limbah Individual dan Komunal	219
7.3 Sistem Cubluk	227
7.4 Tangki Septik.....	232
7.5 Anaerobik Baffle Reactor	239
7.6 Anaerobik Biofilter	243
7.7 Aerobik Biofilter	249
7.8 Biofilter Biodigester	253
7.9 Soal Latihan	255
7.10 Kesimpulan.....	256
BAB VIII PERENCANAAN DAN PERHITUNGAN DIMENSI UNIT PENGOLAHAN AIR LIMBAH.....	261
8.1 Pendahuluan	261
8.2 Master plan.....	262
8.3 Estimasi Debit	266
8.4 Pengolahan	271
8.5 Debit Produksi	275
8.6 Proses Pentahanan Pradesain	277
8.7 Periode Perencanaan	278
8.8 Pemilihan Proses	280
8.9 Luas Lahan dan Tata Letak	282
8.10 Desain: Perhitungan Unit.....	283

8.11 Soal Latihan	285
8.12 Kesimpulan.....	286
DAFTAR PUSTAKA	290

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Contoh Desain Bak Penampung Air Limbah.....	3
Gambar 1. 2 Contoh Sketsa Modifikasi Bak Ekualisasi	4
Gambar 1. 3 Denah Bangunan Penangkap Pasir Tipe Pusair	14
Gambar 1. 4 Potongan Memanjang Bangunan Penangkap Pasir	15
Gambar 1. 5 Potongan Melintang Bangunan Penangkap Pasir	15
Gambar 1. 6 Perusakan Double layer; (a) Koloid Stabil, (b) Penambahan Koagulan Menetralkan Muatan Double layer, (c) Aglomerasi Partikel terdestabilkan Jembatan Polimer	31
Gambar 1. 7 Penetralan Muatan; (a) Zeta Potensial, (b dan c) Penurunan Zeta Potensial karena Kompresi Lapisan Ion, (d) Adsorpsi dan Penetralan Muatan.....	32
Gambar 2. 1 Tahapan-tahapan Perencanaan Pengolahan.....	46
Gambar 2. 2 Skema Proses Pengolahan Air Limbah di Kolam Aerasi Fakultatif	56
Gambar 2. 3 UASB	85
Gambar 2. 4 Zona dan Komponen pada Reaktor Upflow anaerobic sludge blanket (UASB).....	86
Gambar 3. 1 Bak Equalisasi/Sumur Pengumpul.....	106
Gambar 3. 2 Bak Pemisah Lemak/Minyak	114
Gambar 5. 1 Klasifikasi Proses Pengolahan Air Limbah Biologis	169
Gambar 5. 2 Diagram Proses Pengolahan Air Limbah dengan Proses Lumpur Aktif Standar (Konvensional)	172
Gambar 5. 3 Proses Step aeration	173
Gambar 5. 4 Proses Contact stabilization	174
Gambar 5. 5 Proses High Rate Aeration	175
Gambar 5. 6 Proses Pure oxygen	176
Gambar 5. 7 Proses Oxidation ditch.....	178
Gambar 5. 8 Klasifikasi cara Pengolahan Air Limbah dengan proses Film Mikro-Biologis (Proses Biofilm).....	181
Gambar 5. 9 Mekanisme Proses Metabolisme didalam Sistem Biofilm	181
Gambar 5. 10 Metode Trickling filter	183
Gambar 5. 11 Rotating biological contactor	185

Gambar 7. 1 Tangki Septik Konvensional	234
Gambar 7. 2 Modifikasi Tangki Septik.....	235
Gambar 7. 3 Skema Anaerobik Baffle Reactor	241
Gambar 7. 4 Gambar (a) Denah Unit Anaerobic filter, (b) Potongan A-A Anaerobic filter, (c) Potongan B-B Anaerobic filter ..	247
Gambar 8. 1 Contoh Proses Penyusunan (Master plan)	265

BAB I

SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH SECARA FISIK-KIMIA

Informasi Bab I

Sasaran Pembelajaran dari Bab ini adalah mahasiswa yang mengambil mata kuliah Perencanaan Bangunan Pengolah Air Limbah. Tidak ada prasyarat kemampuan yang harus dimiliki oleh mahasiswa untuk mengikuti Bab I ini. Materi dalam bab ini menjadi dasar dalam mempelajari sistem pengolahan air limbah. Setelah mempelajari materi ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan dan memahami mengenai sistem pengolahan air limbah secara fisik-kimia. Bentuk pembelajaran kuliah disajikan dengan metode diskusi secara luring. Kriteria, bentuk, dan bobot penilaian diuraikan di RPS (Rancangan Pembelajaran Semester).

1.1 Pendahuluan

Sistem pengolahan air limbah secara fisik-kimia adalah sistem yang menggunakan prinsip-prinsip fisika dan kimia untuk menghilangkan zat-zat pencemar yang terdapat dalam air limbah. Tujuan dari sistem ini adalah untuk menghasilkan air yang bersih dan aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

Proses pengolahan air limbah secara fisik-kimia meliputi beberapa tahapan, yaitu:

1. Pengolahan secara fisika: Tahap ini bertujuan untuk memisahkan partikel-partikel padat yang tersuspensi atau terlarut dalam air limbah. Metode yang digunakan antara lain adalah penyaringan, sedimentasi, pengapungan, dan adsorpsi. Penyaringan adalah metode yang paling sederhana dan murah, namun hanya efektif untuk partikel berukuran besar. Sedimentasi adalah metode yang

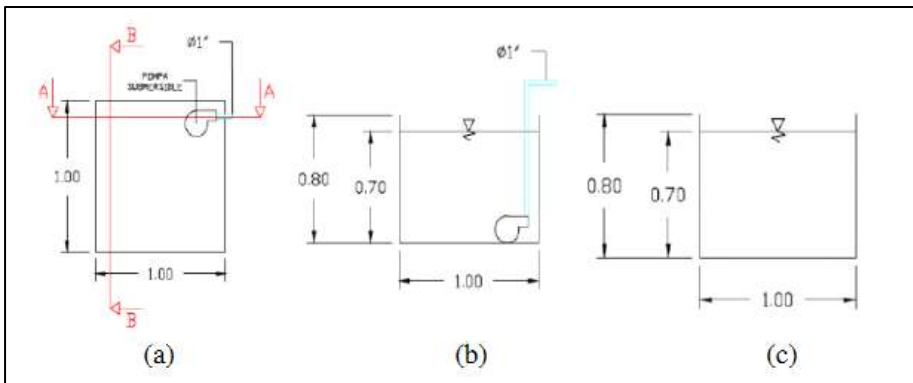
memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengendapkan partikel berat di dasar tangki. Pengapungan adalah metode yang memanfaatkan gelembung gas untuk mendorong partikel ringan ke permukaan. Adsorpsi adalah metode yang memanfaatkan bahan penyerap seperti karbon aktif untuk menyerap zat-zat terlarut dalam air limbah.

2. Pengolahan secara kimia: Tahap ini bertujuan untuk mengubah sifat kimia dari zat-zat pencemar dalam air limbah. Metode yang digunakan antara lain adalah koagulasi, flokulasi, presipitasi, oksidasi, reduksi, dan penyesuaian pH. Koagulasi dan flokulasi adalah metode yang menggunakan bahan kimia seperti alum, besi, atau polimer untuk membentuk gumpalan-gumpalan padat yang mudah dipisahkan dari air. Presipitasi adalah metode yang menggunakan bahan kimia seperti kapur, soda api, atau garam untuk mengendapkan zat-zat terlarut seperti logam berat atau fosfat. Oksidasi dan reduksi adalah metode yang menggunakan bahan kimia seperti klorin, ozon, atau hidrogen peroksida untuk menghancurkan zat-zat organik beracun atau mengubah bentuk kimia dari zat-zat pencemar. Penyesuaian pH adalah metode yang menggunakan bahan kimia seperti asam, basa, atau gas karbon dioksida untuk menjaga keseimbangan asam-basa dalam air limbah.

Sistem pengolahan air limbah secara fisik-kimia memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya antara lain adalah dapat menghilangkan zat-zat pencemar dengan efektif dan cepat, dapat menangani berbagai jenis air limbah dengan konsentrasi tinggi, dan dapat meningkatkan kualitas air limbah sebelum dilanjutkan ke tahap biologis. Kekurangannya antara lain adalah membutuhkan biaya operasional dan perawatan yang tinggi, menghasilkan lumpur atau endapan yang banyak dan sulit diolah, dan dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan akibat penggunaan bahan kimia.

1.2 Sumur Pengumpul (Bak Ekualisasi)

Sumur pengumpul (bak ekualisasi) adalah salah satu unit dalam sistem pengolahan air limbah (IPAL) yang berfungsi untuk menampung dan menyamakan kualitas dan kuantitas air limbah sebelum masuk ke unit pengolahan selanjutnya. Kualitas air limbah yang dimaksud meliputi parameter fisik, kimia, dan biologi, seperti suhu, pH, BOD, COD, TSS, nitrogen, fosfor, dan mikroorganisme. Kuantitas air limbah yang dimaksud adalah debit atau laju alir air limbah yang dapat bervariasi tergantung pada sumber dan waktu pembuangan. Sumur pengumpul berperan penting untuk menghindari fluktuasi kualitas dan kuantitas air limbah yang dapat mempengaruhi kinerja unit pengolahan selanjutnya.



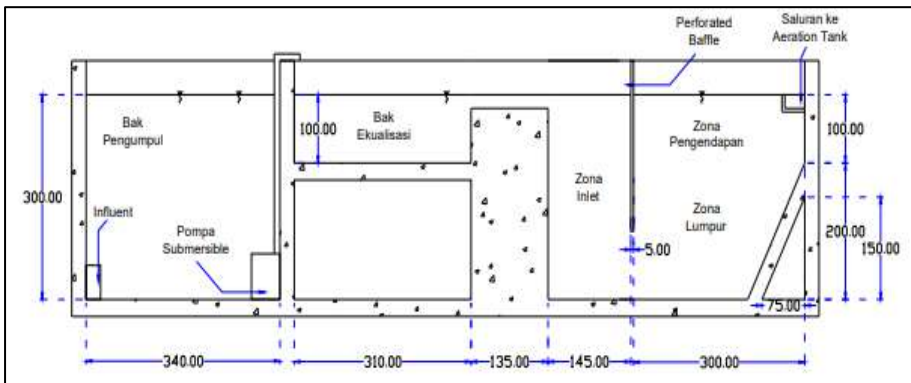
Gambar 1. 1 Contoh Desain Bak Penampung Air Limbah [1]

Sumur pengumpul dapat dilengkapi dengan beberapa komponen tambahan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitasnya. Komponen-komponen tersebut antara lain:

1. Bak penangkap lemak (*oil and grease*): Bak ini berfungsi untuk menyaring minyak dan lemak yang mungkin masuk ke dalam sumur pengumpul dari sumber air limbah. Minyak dan lemak dapat mengganggu proses pengolahan air limbah karena dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme, mengurangi transfer oksigen, dan menyebabkan bau busuk. Bak penangkap lemak

biasanya berbentuk kotak atau silinder dengan ukuran yang disesuaikan dengan debit air limbah. Bak ini dilengkapi dengan saluran masuk dan keluar serta katup pembuangan untuk membuang minyak dan lemak yang terkumpul di permukaan bak.

2. **Bar screen:** *Bar screen* berupa kawat yang terbuat dari stainless steel yang dipasang di saluran masuk sumur pengumpul untuk menyaring benda-benda kasar seperti sampah plastik, kertas, atau kain. Benda-benda kasar ini dapat menyumbat saluran atau pompa air limbah serta mengurangi kapasitas sumur pengumpul. *Bar screen* harus dibersihkan secara berkala untuk menghilangkan benda-benda kasar yang tersangkut di antara kawat-kawatnya.
3. **Pompa:** Pompa digunakan untuk mengalirkan air limbah dari sumur pengumpul ke unit pengolahan selanjutnya. Pompa harus dipilih sesuai dengan debit dan tekanan air limbah yang diinginkan. Pompa juga harus dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis atau manual untuk mengatur waktu dan durasi pengoperasiannya.



Gambar 1. 2 Contoh Sketsa Modifikasi Bak Ekualisasi [2]

Kriteria desain untuk sumur pengumpul yang penting adalah waktu detensi, yaitu waktu yang dibutuhkan oleh air limbah untuk mengalir dari titik masuk hingga titik keluar sumur. Waktu detensi ini harus cukup untuk menyamakan kualitas dan kuantitas air limbah, tetapi tidak terlalu lama sehingga tidak terjadi proses anaerobik yang dapat menghasilkan bau busuk. Waktu detensi yang umum digunakan

berkisar antara 1-2 jam. Selain itu, dimensi sumur pengumpul harus disesuaikan dengan debit air limbah yang akan ditampung. Selain waktu detensi dan dimensi sumur pengumpul, ada aspek-aspek lain yang perlu dipertimbangkan, seperti:

1. Kecepatan alir air limbah di dalam sumur pengumpul. Kecepatan alir ini harus rendah agar tidak terjadi pengadukan yang dapat mengganggu proses penyamaan kualitas dan kuantitas air limbah. Kecepatan alir yang umum digunakan berkisar antara 0,1-0,3 m/detik.
2. Aerasi atau pengudaraan di dalam sumur pengumpul. Aerasi dapat dilakukan dengan menggunakan blower atau diffuser untuk menyuplai oksigen ke dalam air limbah. Aerasi dapat membantu mengurangi bau busuk, meningkatkan oksigen terlarut, dan mengaktifkan mikroorganisme aerobik di dalam air limbah. Aerasi yang umum digunakan berkisar antara 0,5-1 kg O₂/m³ air limbah.
3. Pengadukan atau mixing di dalam sumur pengumpul. Pengadukan dapat dilakukan dengan menggunakan pompa atau mixer untuk mencampur air limbah secara merata. Pengadukan dapat membantu menyamakan kualitas dan kuantitas air limbah serta mencegah terjadinya stratifikasi atau pemisahan lapisan air limbah berdasarkan berat jenisnya. Pengadukan yang umum digunakan berkisar antara 10-20 W/m³ air limbah.

Rumus untuk perhitungan sumur pengumpul adalah sebagai berikut:

$$V = Q \times td \quad 1.1$$

Dimana:

V= Volume sumur pengumpul

Q= Debit air limbah

Td= Waktu detensi

$$A = \frac{V}{H} \quad 1.2$$

Dimana:

A= Luas penampang sumur pengumpul

V= Volume sumur pengumpul

H= Kedalaman sumur pengumpul

$$L = \frac{A}{B} \quad 1.3$$

Dimana:

L= Panjang sumur pengumpul

A= Luas penampang sumur pengumpul

B= Lebar sumur pengumpul (B)

Contoh perhitungan:

Debit air limbah (Q) = 10 m³/hari

Waktu detensi (td) = 2 menit = 0,033 jam

Kedalaman sumur pengumpul (H) = 2 m

Lebar sumur pengumpul (B) = 1 m

- Volume sumur pengumpul (V) = $10 \times 0,033$
= 0,33 m³
- Luas penampang sumur pengumpul (A) = $\frac{0,33}{2}$
= 0,165 m²
- Panjang sumur pengumpul (L) = $\frac{0,165}{1}$
= 0,165 m

1.3 Saringan Sampah (*Bar screen*)

Saringan sampah (*bar screen*) adalah salah satu peralatan yang digunakan untuk memisahkan benda-benda padat yang berukuran besar atau kasar dari air limbah. Saringan sampah berfungsi untuk melindungi pompa dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat benda-benda asing yang masuk ke dalam sistem pengolahan air limbah.

Saringan sampah juga dapat mengurangi beban padatan tersuspensi dan lemak pada proses pengolahan selanjutnya.

Saringan sampah dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu saringan kasar (*coarse screen*) dan saringan halus (*fine screen*). Saringan kasar memiliki jarak antara batang (*bar*) yang lebih besar, yaitu antara 32-100 mm. Saringan kasar biasanya diletakkan pada awal proses, di depan stasiun pompa atau unit pemisah pasir (*grit chamber*). Saringan kasar dapat dibersihkan secara manual atau mekanik. Untuk pembersihan secara manual, biasanya digunakan untuk instalasi pengolahan air limbah kapasitas kecil. Untuk pembersihan secara mekanik, biasanya digunakan alat seperti rakit, rantai, atau sikat yang bergerak secara otomatis untuk mengangkat benda-benda padat yang tersangkut pada saringan.

Saringan halus memiliki jarak antara batang (*bar*) yang lebih kecil, yaitu antara 1,5-13 mm. Saringan halus biasanya diletakkan di belakang saringan kasar atau di depan unit pengolahan sekunder, seperti *trickling filter* atau *activated sludge*. Saringan halus harus dibersihkan secara mekanik, karena benda-benda padat yang tersangkut pada saringan lebih sulit untuk dilepaskan secara manual. Saringan halus juga dapat dibedakan menjadi *fixed screen* dan *movable screen*. *Fixed screen* adalah saringan yang dipasang secara permanen dengan posisi vertikal, miring, atau horizontal. *Movable screen* adalah saringan yang dapat bergerak secara periodik untuk membersihkan diri dari benda-benda padat yang menempel [3].

1. Kriteria Saringan Sampah (*Bar screen*)

Beberapa kriteria perencanaan saringan sampah adalah sebagai berikut :

- a. Jarak antara batang (*bar*) yang digunakan untuk menyaring benda-benda padat dari air limbah. Jarak ini biasanya berkisar antara 1-2 inci (25-50 mm) untuk saringan kasar dan 0,06-0,25 inci (1,5-6 mm) untuk saringan halus.
- b. Tebal batang (*bar*) yang digunakan untuk membentuk kerangka saringan. Tebal ini biasanya berkisar antara 0,8-1 inci (20-25 mm)

untuk saringan kasar dan 0,2-0,4 inci (5-10 mm) untuk saringan halus.

- c. Kecepatan aliran air limbah saat melalui saringan. Kecepatan ini harus dijaga agar tidak terlalu tinggi atau terlalu rendah, agar tidak menyebabkan penumpukan benda-benda padat atau kehilangan head yang berlebihan. Kecepatan ini biasanya berkisar antara 0,3-0,75 m/detik.
- d. Panjang penampang batang yang digunakan untuk menentukan luas permukaan saringan. Panjang ini biasanya berkisar antara 1-1,5 inci (25-38 mm) untuk saringan kasar dan 0,5-1 inci (13-25 mm) untuk saringan halus.
- e. Kemiringan batang terhadap arah horizontal yang digunakan untuk menentukan sudut inklinasi saringan. Kemiringan ini harus disesuaikan dengan karakteristik air limbah dan kebutuhan pembersihan. Kemiringan ini biasanya berkisar antara 30-60 derajat.
- f. *Head loss* maksimum yang diizinkan saat air limbah melewati saringan. *Head loss* ini harus diperhitungkan agar tidak mengganggu aliran air limbah ke unit pengolahan selanjutnya. *Head loss* ini biasanya tidak boleh melebihi 6 inci (150 mm).

Untuk menghitung kapasitas saringan sampah, kita perlu mengetahui beberapa parameter, seperti jarak antara batang (*bar*), tebal batang, kecepatan aliran air limbah, panjang penampang batang, kemiringan batang, dan *head loss* maksimum.

Cara menghitung kapasitas saringan sampah dapat dilakukan dengan rumus-rumus yang berbeda.

- a. Cara menghitung kapasitas layanan pengumpulan sampah dengan rumus [4]:

$$K_l = \frac{Q}{F_p \times K_k \times R_k} \quad 1.4$$

di mana K_l adalah kapasitas layanan pengumpulan sampah ($m^3/hari$), Q adalah timbulan sampah ($m^3/hari$), F_p adalah faktor

pemadatan alat (1,2), K_k adalah kapasitas alat pengumpul (m^3), dan R_k adalah ritasi alat pengumpul (kali/hari).

- b. Cara menghitung jumlah alat pengumpulan sampah secara langsung (truk) dengan rumus [5]:

$$N = \frac{P \times T}{P_a \times K_k} \quad 1.5$$

di mana N adalah jumlah alat pengumpulan sampah (unit), P adalah jumlah penduduk (orang), T adalah timbulan sampah (L/orang atau unit/hari), P_a adalah persentase sampah anorganik (%), dan K_k adalah kapasitas alat pengumpul (m^3).

- c. Cara menghitung kapasitas saringan sampah dengan rumus [6]:

$$Q = A \times V \quad 1.6$$

di mana Q adalah kapasitas saringan sampah (m^3 /detik), A adalah luas permukaan saringan (m^2), dan V adalah kecepatan aliran air limbah (m/detik).

2. Manfaat dan Kelemahan Saringan Sampah

Saringan sampah memiliki beberapa manfaat dan kelemahan dalam pengolahan air limbah. Beberapa manfaat saringan sampah adalah:

- Mencegah kerusakan pada pompa dan peralatan lainnya akibat benda-benda padat yang berukuran besar atau kasar.
- Mengurangi beban padatan tersuspensi dan lemak pada proses pengolahan sekunder, sehingga meningkatkan efisiensi dan kualitas pengolahan.
- Mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan sistem pengolahan air limbah.
- Mengurangi bau dan gas yang dihasilkan dari proses pengolahan anaerobik.

Beberapa kelemahan saringan sampah adalah:

- a. Memerlukan pembersihan secara rutin untuk menghindari penumpukan benda-benda padat yang dapat mengganggu aliran air limbah.
- b. Memerlukan penanganan khusus untuk benda-benda padat yang terpisah dari air limbah, seperti pengangkutan, penyimpanan, atau daur ulang.
- c. Memerlukan energi listrik untuk mengoperasikan alat pembersih mekanik, terutama untuk saringan halus.
- d. Memerlukan desain dan instalasi yang tepat sesuai dengan karakteristik air limbah dan kapasitas sistem pengolahan.

3. Jenis Kerusakan Saringan Sampah

Bar screen adalah salah satu peralatan yang digunakan untuk menyaring benda-benda padat yang berukuran besar atau kasar dari air limbah. *Bar screen* berfungsi untuk melindungi pompa dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat benda-benda asing yang masuk ke dalam sistem pengolahan air limbah. *Bar screen* juga dapat mengurangi beban padatan tersuspensi dan lemak pada proses pengolahan selanjutnya.

Beberapa jenis kerusakan yang dapat terjadi pada *bar screen* adalah sebagai berikut:

- a. *Bar screen* tersumbat oleh benda-benda padat yang tidak dapat dilewati oleh celah antara batang (*bar*). Hal ini dapat mengganggu aliran air limbah dan menyebabkan penumpukan di depan *bar screen*. Untuk mencegahnya, *bar screen* harus dibersihkan secara rutin dengan cara manual atau mekanik.
- b. *Bar screen* rusak atau patah akibat tekanan air limbah yang terlalu tinggi atau benturan benda-benda keras. Hal ini dapat menyebabkan celah antara batang menjadi tidak sesuai dengan ukuran yang diinginkan dan mengurangi efektivitas penyaringan. Untuk mencegahnya, *bar screen* harus dipasang dengan kuat dan sesuai dengan desain dan spesifikasi yang tepat.
- c. *Bar screen* korosi atau karat akibat paparan air limbah yang mengandung zat-zat kimia atau biologis yang bersifat korosif. Hal

ini dapat menyebabkan *bar screen* menjadi rapuh dan mudah patah. Untuk mencegahnya, *bar screen* harus dibuat dari bahan yang tahan korosi atau dilapisi dengan cat pelindung.

4. Upaya Perawatan Saringan Sampah

Untuk merawat saringan sampah agar tetap bersih dan awet, Anda dapat melakukan beberapa hal berikut ini:

- a. Bersihkan saringan sampah secara rutin dengan cara manual atau mekanik. Cara manual dapat dilakukan dengan menggunakan sikat, alat pengait, atau tangan untuk mengangkat benda-benda padat yang tersangkut pada saringan. Cara mekanik dapat dilakukan dengan menggunakan alat seperti raket, rantai, atau sikat yang bergerak secara otomatis untuk mengangkat benda-benda padat yang tersangkut pada saringan.
- b. Cek kondisi saringan sampah secara berkala untuk memastikan tidak ada kerusakan atau patah pada batang (*bar*) saringan. Jika ada kerusakan atau patah, segera ganti dengan batang baru yang sesuai dengan ukuran dan spesifikasi yang tepat.
- c. Lindungi saringan sampah dari korosi atau karat akibat paparan air limbah yang mengandung zat-zat kimia atau biologis yang bersifat korosif. Anda dapat melapisi saringan sampah dengan cat pelindung atau menggunakan bahan yang tahan korosi seperti stainless steel.
- d. Rebus saringan sampah secara berkala dengan air mendidih tanpa tambahan sabun atau pembersih lainnya untuk membersihkan endapan kotoran yang menempel pada saringan. Rendam saringan sampah selama sekitar 2 menit ketika airnya mendidih.
- e. Kurangi penggunaan wadah dan peralatan makan dan minum sekali pakai yang dapat menjadi sumber sampah anorganik. Anda dapat menggunakan botol atau gelas yang bisa digunakan kembali, membawa tas belanjaan yang terbuat dari kain, dan memperhatikan label kemasan produk sebelum membelinya.
- f. Pisahkan sampah sesuai jenisnya sebelum membuangnya ke saringan sampah. Anda dapat mengelompokkan sampah menjadi

organik, anorganik, dan B3. Sampah organik adalah sampah yang mudah membusuk dan terurai, seperti sisa makanan, daun-daun, dan kertas pembungkus makanan (kecuali *styrofoam*). Sampah anorganik adalah sampah yang sulit membusuk dan tidak dapat terurai, seperti plastik, besi, barang pecah belah, dan peralatan elektronik. Sampah B3 adalah sampah yang berbahaya dan beracun, seperti detergen, produk pembersih rumah, semir sepatu, racun tikus, dan zat kimia lainnya.

- g. Jadikan sampah organik sebagai pupuk kompos dengan cara mengolahnya menjadi sesuatu yang baru dan bermanfaat. Anda dapat mempelajari cara membuat pupuk kompos dengan peralatan sederhana di rumah.

1.4 Bak Penangkap Pasir (*Grit chamber*)

Bak penangkap pasir (*grit chamber*) adalah salah satu unit pengolahan air limbah secara fisik yang berfungsi untuk memisahkan pasir dan partikel berat lainnya dari aliran air limbah. Pasir dan partikel berat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan pengolahan selanjutnya, seperti pompa, pipa, dan bakteri pengurai. Oleh karena itu, bak penangkap pasir dapat mengurangi beban pencemar, energi, dan biaya operasi sistem pengolahan air limbah secara keseluruhan. Bak penangkap pasir biasanya diletakkan sebelum atau sesudah pompa air baku limbah, tergantung pada kondisi saluran. Jika saluran memiliki kemiringan yang cukup, bak penangkap pasir dapat diletakkan sebelum pompa agar tidak membebani kerja pompa. Jika saluran memiliki kemiringan yang rendah, bak penangkap pasir dapat diletakkan sesudah pompa agar tidak terjadi penyumbatan saluran.

Bak penangkap pasir terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. Saluran masuk (*inlet channel*), yaitu saluran yang mengalirkan air limbah ke bak penangkap pasir. Saluran masuk harus dirancang agar tidak terjadi turbulensi atau pengadukan yang dapat mengganggu proses pemisahan pasir.

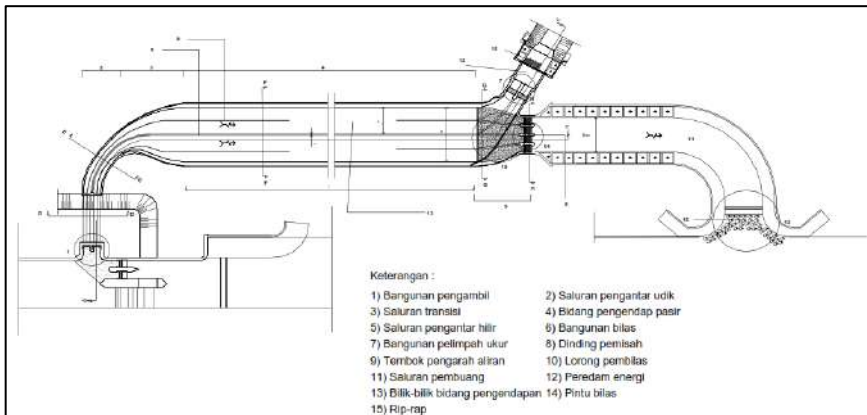
2. Ruang penangkap pasir (*grit chamber*), yaitu ruang utama yang berbentuk parabola atau trapesium, dimana terjadi proses pemisahan pasir. Ruang penangkap pasir harus memiliki dimensi yang sesuai dengan debit, kecepatan, dan waktu detensi hidrolis air limbah. Kecepatan aliran harus cukup rendah agar pasir dapat mengendap di dasar ruang, tetapi cukup tinggi agar bahan organik tidak ikut mengendap. Waktu detensi hidrolis harus cukup lama agar pasir dapat terpisahkan dengan baik.
3. Saluran keluar (*outlet channel*), yaitu saluran yang mengalirkan air limbah yang telah dipisahkan dari pasir ke unit pengolahan selanjutnya. Saluran keluar harus dirancang agar tidak terjadi turbulensi atau pengadukan yang dapat membawa kembali pasir ke aliran air limbah.
4. Alat pembersih pasir (*grit removal device*), yaitu alat yang berfungsi untuk membersihkan dan mengeluarkan pasir yang telah mengendap di dasar ruang penangkap pasir. Alat pembersih pasir dapat berupa rakel mekanis, pompa hisap, atau aliran udara. Alat pembersih pasir harus dioperasikan secara berkala agar tidak terjadi akumulasi atau pengerasan pasir di dasar ruang [7].

Bak penangkap pasir dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu bak penangkap pasir dengan aliran horizontal (*horizontal flow grit chamber*) dan bak penangkap pasir dengan aliran vertikal (*aerated grit chamber*).

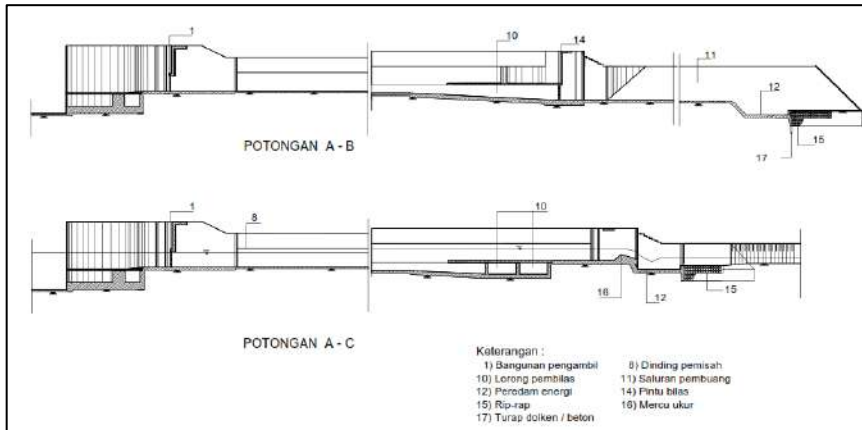
1. Bak penangkap pasir dengan aliran horizontal adalah jenis bak penangkap pasir yang paling sederhana dan umum digunakan. Bak penangkap pasir ini berbentuk seperti saluran persegi panjang yang memiliki kemiringan dasar sekitar 1-2%. Kecepatan aliran air limbah di dalam bak penangkap pasir ini diatur sekitar 0,3-0,4 m/detik. Pasir dan partikel berat lainnya akan mengendap di dasar bak karena gaya gravitasi, sedangkan bahan organik akan tetap mengapung di permukaan air. Bak penangkap pasir dengan aliran horizontal biasanya dilengkapi dengan rakel mekanis yang

bergerak secara bolak-balik untuk membersihkan dan mengangkut pasir ke saluran pembuangan.

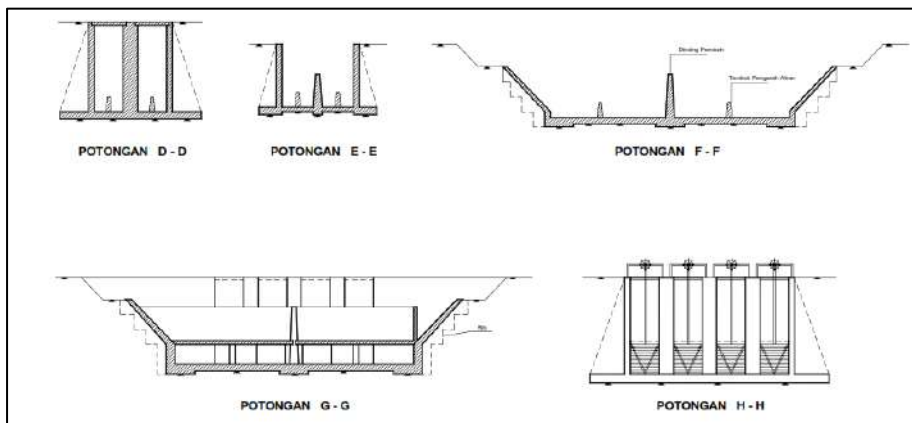
2. Bak penangkap pasir dengan aliran vertikal adalah jenis bak penangkap pasir yang menggunakan udara sebagai media pengaduk. Bak penangkap pasir ini berbentuk seperti tangki silinder yang memiliki dasar kerucut. Udara dipompa ke dalam bak melalui diffuser yang terletak di dasar bak. Udara yang naik ke atas akan membentuk gelembung-gelembung udara yang akan mengaduk air limbah secara vertikal. Kecepatan aliran udara diatur sedemikian rupa agar cukup untuk mencegah pengendapan bahan organik, tetapi tidak cukup untuk mengangkat pasir. Pasir dan partikel berat lainnya akan mengendap di dasar kerucut, sedangkan bahan organik akan terbawa ke saluran keluar. Bak penangkap pasir dengan aliran vertikal biasanya dilengkapi dengan pompa hisap atau aliran udara untuk membersihkan dan mengeluarkan pasir dari dasar kerucut.



Gambar 1. 3 Denah Bangunan Penangkap Pasir Tipe Pusair [7]



Gambar 1. 4 Potongan Memanjang Bangunan Penangkap Pasir [7]



Gambar 1. 5 Potongan Melintang Bangunan Penangkap Pasir [7]

Untuk menghitung dimensi bak penangkap pasir, kita perlu mengetahui beberapa hal, yaitu:

1. Debit air limbah yang akan diolah (Q)
2. Kecepatan aliran air limbah di dalam bak penangkap pasir (V)
3. Waktu detensi hidrolis di dalam bak penangkap pasir (t)
4. Kemiringan dasar bak penangkap pasir (S)
5. Efisiensi penangkapan pasir (E)

Dimensi hidraulik bak penangkap pasir dapat ditentukan dengan langkah-langkah berikut [7]:

1. Menentukan panjang bak penangkap pasir (L) dengan rumus:

$$L = \frac{Q}{V \times B} \quad 1.7$$

dimana B adalah lebar bak penangkap pasir yang dapat diasumsikan sekitar 0,5-1 m.

2. Menentukan kedalaman bak penangkap pasir (H) dengan rumus:

$$H = \frac{Q}{V \times L} \quad 1.8$$

3. Menentukan kemiringan dasar bak penangkap pasir (S) dengan rumus:

$$S = \frac{V^2}{g \times d_{50}} \quad 1.9$$

dimana g adalah percepatan gravitasi (9,81 m/detik²) dan d_{50} adalah diameter median partikel pasir yang akan ditangkap (m).

4. Menentukan waktu detensi hidrolis di dalam bak penangkap pasir (t) dengan rumus:

$$t = \frac{L}{V} \quad 1.10$$

5. Menentukan efisiensi penangkapan pasir (E) dengan rumus:

$$E = 100 \times (1 - e^{-0,0135 \times t^{0,71}}) \quad 1.11$$

dimana e adalah bilangan eksponensial (2,718).

**Tabel 1. 1 Contoh Perhitungan Dimensi Bak Penangkap Pasir
dengan Aliran Horizontal**

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Debit air limbah	Q	m ³ /detik	0,5
Kecepatan aliran	V	m/detik	0,3
Lebar bak	B	m	0,8
Panjang bak	L	m	2,08
Kedalaman bak	H	m	0,32
Kemiringan dasar	S	%	1,8
Waktu detensi hidrolis	t	detik	6,93
Efisiensi penangkapan pasir	E	%	95

Ada beberapa standar atau peraturan yang terkait dengan dimensi bak penangkap pasir, terutama untuk bangunan penangkap pasir tipe Pusair yang dikembangkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (Pusair). Berikut ini adalah beberapa sumber yang dapat Anda lihat:

1. [Perencanaan hidraulik, operasi dan pemeliharaan bangunan penangkap pasir tipe PUSAIR], yang merupakan pedoman teknik yang dikeluarkan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah pada tahun 2004. Pedoman ini menjelaskan tentang karakteristik teknik, langkah-langkah pembuatan desain hidraulik, cara pengoperasian, dan persyaratan pemeliharaan bangunan penangkap pasir tipe Pusair [8].
2. [Bangunan Penangkap Pasir Tipe Pusair II], yang merupakan teknologi yang dikembangkan oleh Pusair pada tahun 2010. Teknologi ini merupakan penyempurnaan dari bangunan penangkap pasir tipe Pusair sebelumnya, dengan menambahkan sistem pengendali aliran dan sistem pengukur debit. Teknologi ini diklaim dapat meningkatkan efisiensi penangkapan pasir hingga 95% dan mengurangi biaya operasi dan pemeliharaan [9].
3. [SNI 03-2847-2002] tentang Tata Cara Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik, yang merupakan standar

nasional Indonesia yang dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional pada tahun 2002. Standar ini mengatur tentang prinsip-prinsip, persyaratan, dan metode perencanaan instalasi pengolahan air limbah domestik, termasuk bak penangkap pasir sebagai salah satu unit pengolahan fisik.

Untuk merawat bak penangkap pasir, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Membersihkan dan mengeluarkan pasir yang mengendap di dasar bak secara berkala, menggunakan alat pembersih pasir yang sesuai dengan jenis bak penangkap pasir. Misalnya, untuk bak penangkap pasir dengan aliran horizontal, dapat menggunakan rakel mekanis yang bergerak secara bolak-balik. Untuk bak penangkap pasir dengan aliran vertikal, dapat menggunakan pompa hisap atau aliran udara.
2. Mengatur kecepatan aliran air limbah di dalam bak penangkap pasir agar sesuai dengan debit, waktu detensi hidrolis, dan efisiensi penangkapan pasir yang diinginkan. Kecepatan aliran harus cukup rendah agar pasir dapat mengendap, tetapi cukup tinggi agar bahan organik tidak ikut mengendap. Kecepatan aliran dapat diatur dengan menggunakan sistem pengendali aliran dan sistem pengukur debit.
3. Memeriksa kondisi fisik bak penangkap pasir secara rutin, termasuk saluran masuk, ruang penangkap pasir, saluran keluar, dan alat pembersih pasir. Apabila terdapat kerusakan, kebocoran, atau penyumbatan, segera lakukan perbaikan atau penggantian.
4. Mengikuti standar atau peraturan yang terkait dengan dimensi, desain, operasi, dan pemeliharaan bak penangkap pasir. Misalnya, standar nasional Indonesia SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik, atau pedoman teknik Perencanaan hidraulik, operasi dan pemeliharaan bangunan penangkap pasir tipe PUSAIR [7].

Jenis-jenis partikel yang dapat dipisahkan oleh bak penangkap pasir adalah partikel-partikel yang memiliki berat jenis lebih besar dari

air dan ukuran lebih besar dari bahan organik yang terdapat dalam air limbah. Partikel-partikel ini biasanya terdiri dari pasir, kerikil, kotoran, logam, dan benda-benda asing lainnya [10]. Partikel-partikel ini dapat mengganggu proses pengolahan air limbah selanjutnya jika tidak dipisahkan terlebih dahulu.

Bak penangkap pasir memanfaatkan perbedaan kecepatan aliran dan waktu detensi hidrolis untuk memisahkan partikel-partikel tersebut dari air limbah. Partikel-partikel yang lebih berat dan lebih besar akan mengendap di dasar bak karena gaya gravitasi, sedangkan partikel-partikel yang lebih ringan dan lebih kecil akan tetap mengapung atau terbawa oleh aliran air limbah. Partikel-partikel yang telah mengendap kemudian dibersihkan dan dikeluarkan oleh alat pembersih pasir.

1.5 Bak Pengendap/Sedimentasi I dan II

Bak pengendap atau bak sedimentasi adalah salah satu unit proses dalam pengolahan air limbah yang berfungsi untuk memisahkan partikel padat yang lebih berat dari air dengan cara gravitasi. Bak pengendap dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu bak pengendap primer dan bak pengendap sekunder.

1. Bak Pengendap Primer

Bak pengendap primer adalah bak yang menerima air limbah mentah atau kasar yang belum mengalami proses biologis. Tujuan dari bak ini adalah untuk menghilangkan partikel padat kasar, pasir, dan lemak yang dapat mengganggu proses selanjutnya. Bak pengendap primer biasanya berbentuk persegi panjang atau bulat, dengan kedalaman antara 2,5-5 meter. Bak ini dilengkapi dengan zona *inlet*, zona *settling*, zona *sludge*, dan zona *outlet*.

- a. Zona *inlet* adalah bagian awal dari bak pengendap primer yang berbentuk saluran terbuka. Zona ini berfungsi untuk mendistribusikan aliran air limbah secara merata ke seluruh permukaan bak. Kecepatan aliran di zona ini harus sama dengan kecepatan *outlet* bak netralisasi, yaitu sekitar 0,4 meter per detik.

- b. Zona *settling* adalah bagian utama dari bak pengendap primer yang berfungsi untuk memungkinkan partikel padat mengendap di dasar bak. Zona ini dirancang berdasarkan beberapa kriteria, seperti *over flow rate* (OFR), waktu tinggal (*Td*), dimensi, persentase removal, bilangan Reynold, dan *slope*. OFR adalah laju aliran per satuan luas permukaan bak yang menentukan efisiensi pengendapan. OFR rata-rata berkisar antara 30-50 meter kubik per meter persegi per jam, sedangkan OFR puncak berkisar antara 70-130 meter kubik per meter persegi per jam. *Td* adalah waktu yang dibutuhkan air limbah untuk melewati zona *settling*. *Td* berkisar antara 0,6-3,6 jam. Dimensi adalah ukuran panjang, lebar, dan kedalaman zona *settling*. Untuk bak persegi panjang, panjang berkisar antara 10-100 meter, lebar berkisar antara 3-24 meter, kedalaman berkisar antara 2,5-5 meter, rasio panjang terhadap lebar berkisar antara 1-7,5, dan rasio panjang terhadap kedalaman berkisar antara 4,3-25. Persentase removal adalah fraksi partikel padat yang dihilangkan dari air limbah. Untuk total suspended solid (TSS), persentase removal berkisar antara 50-70%. Bilangan Reynold adalah parameter yang menunjukkan jenis aliran di zona *settling*. Aliran harus laminar agar pengendapan optimal, sehingga bilangan Reynold harus kurang dari 2000. *Slope* adalah kemiringan dasar zona *settling* ke arah zona *sludge*. Untuk bak persegi panjang, *slope* berkisar antara 1-2%, sedangkan untuk bak bulat, *slope* berkisar antara 40-100 milimeter per meter.
- c. Zona *sludge* adalah bagian bawah dari bak pengendap primer yang berfungsi untuk menampung partikel padat yang mengendap. Zona ini harus dilengkapi dengan sistem pengambilan atau pengurasan *sludge* secara periodik agar tidak menimbulkan bau dan gangguan pada proses pengendapan. Zona ini juga dirancang berdasarkan beberapa kriteria, seperti persentase removal TSS, *volatile solid*, dan *dry solid*. *Volatile solid* adalah fraksi partikel padat yang mudah terurai secara biologis. *Volatile solid* berkisar

antara 60-90%. *Dry solid* adalah fraksi partikel padat yang tidak mengandung air. *Dry solid* berkisar antara 3-8%.

- d. Zona *outlet* adalah bagian akhir dari bak pengendap primer yang berfungsi untuk mengeluarkan air limbah yang telah mengalami pengendapan ke unit proses selanjutnya. Zona ini biasanya dilengkapi dengan weir atau pelimpah untuk menjaga ketinggian air di dalam bak. Zona ini juga dirancang berdasarkan beberapa kriteria, seperti *weir loading rate* dan tinggi air di atas pelimpah. *Weir loading rate* adalah laju aliran per satuan panjang pelimpah yang menentukan efisiensi pengendapan. *Weir loading rate* berkisar antara 407-1628 meter kubik per meter persegi per hari. Tinggi air di atas pelimpah adalah jarak antara permukaan air dan bibir pelimpah yang menentukan tekanan hidrostatik. Tinggi air di atas pelimpah berkisar antara 1-2 milimeter.

2. Bak Pengendap Sekunder

Bak pengendap sekunder adalah bak yang menerima air limbah yang telah mengalami proses biologis, seperti aerasi atau lumpur aktif. Tujuan dari bak ini adalah untuk memisahkan lumpur biologis yang terbentuk dari proses biologis dari air bersih yang dapat dibuang atau didaur ulang. Bak pengendap sekunder biasanya berbentuk bulat, dengan kedalaman antara 3-5 meter. Bak ini dilengkapi dengan zona *inlet*, zona *settling*, zona *sludge*, zona *outlet*, dan zona *sludge recycle*.

- a. Zona *inlet* adalah bagian awal dari bak pengendap sekunder yang berbentuk saluran terbuka. Zona ini berfungsi untuk mendistribusikan aliran air limbah secara merata ke seluruh permukaan bak. Kecepatan aliran di zona ini harus sama dengan kecepatan *outlet* bak aerasi, yaitu sekitar 0,3 meter per detik.
- b. Zona *settling* adalah bagian utama dari bak pengendap sekunder yang berfungsi untuk memungkinkan lumpur biologis mengendap di dasar bak. Zona ini dirancang berdasarkan beberapa kriteria, seperti OFR, Td, dimensi, persentase removal, bilangan Reynold, dan *slope*. OFR adalah laju aliran per satuan luas permukaan bak yang menentukan efisiensi pengendapan. OFR rata-rata berkisar

antara 20-40 meter kubik per meter persegi per jam, sedangkan OFR puncak berkisar antara 40-80 meter kubik per meter persegi per jam. Td adalah waktu yang dibutuhkan air limbah untuk melewati zona *settling*. Td berkisar antara 1-4 jam. Dimensi adalah ukuran diameter dan kedalaman zona *settling*. Untuk bak bulat, diameter berkisar antara 15-60 meter, sedangkan kedalaman berkisar antara 3-5 meter. Persentase removal adalah fraksi lumpur biologis yang dihilangkan dari air limbah. Untuk TSS, persentase removal berkisar antara 90-95%. Bilangan Reynold adalah parameter yang menunjukkan jenis aliran di zona *settling*. Aliran harus laminar agar pengendapan optimal, sehingga bilangan Reynold harus kurang dari 2000. *Slope* adalah kemiringan dasar zona *settling* ke arah zona *sludge*. Untuk bak bulat, *slope* berkisar antara 40-100 milimeter per meter.

- c. Zona *sludge* adalah bagian bawah dari bak pengendap sekunder yang berfungsi untuk menampung lumpur biologis yang mengendap. Zona ini harus dilengkapi dengan sistem pengambilan atau pengurasan *sludge* secara periodik agar tidak menimbulkan bau dan gangguan pada proses pengendapan. Zona ini juga dirancang berdasarkan beberapa kriteria, seperti persentase removal TSS, *volatile solid*, dan *dry solid*. *Volatile solid* adalah fraksi lumpur biologis yang mudah terurai secara biologis. *Volatile solid* berkisar antara 70-80%. *Dry solid* adalah fraksi lumpur biologis yang tidak mengandung air. *Dry solid* berkisar antara 0,5-1%.
- d. Zona *outlet* adalah bagian akhir dari bak pengendap sekunder yang berfungsi untuk mengeluarkan air bersih yang telah mengalami pengendapan ke unit proses selanjutnya atau ke lingkungan. Zona ini biasanya dilengkapi dengan weir atau pelimpah untuk menjaga ketinggian air di dalam bak. Zona ini juga dirancang berdasarkan beberapa kriteria, seperti *weir loading rate* dan tinggi air di atas pelimpah.

- e. Zona *sludge recycle* adalah bagian tambahan dari bak pengendap sekunder yang berfungsi untuk mengembalikan sebagian lumpur biologis yang mengendap ke unit proses biologis, seperti bak aerasi atau lumpur aktif. Tujuan dari zona ini adalah untuk menjaga konsentrasi mikroorganisme yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik di unit proses biologis. Zona ini biasanya dilengkapi dengan pompa atau blower untuk mengalirkan lumpur biologis dari zona *sludge* ke unit proses biologis. Zona ini juga dirancang berdasarkan beberapa kriteria, seperti laju *recycle*, rasio *recycle*, dan kualitas lumpur.
- Laju *recycle* adalah laju aliran lumpur biologis yang dikembalikan ke unit proses biologis per satuan laju aliran air limbah yang masuk ke bak pengendap sekunder. Laju *recycle* menentukan konsentrasi mikroorganisme di unit proses biologis. Laju *recycle* berkisar antara 50-200%.
- Rasio *recycle* adalah perbandingan antara laju aliran lumpur biologis yang dikembalikan ke unit proses biologis dengan laju aliran lumpur biologis yang dikeluarkan dari bak pengendap sekunder. Rasio *recycle* menentukan jumlah lumpur biologis yang tersisa di bak pengendap sekunder. Rasio *recycle* berkisar antara 0,5-1,5.
- Kualitas lumpur adalah karakteristik fisik dan kimia lumpur biologis yang dikembalikan ke unit proses biologis. Kualitas lumpur dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, pH, oksigen terlarut, nutrisi, toksisitas, dan lain-lain. Kualitas lumpur menentukan aktivitas mikroorganisme dan efisiensi penguraian bahan organik di unit proses biologis.

3. Perbedaan Bak Pengendap Primer dan Sekunder

Bak pengendap primer dan bak pengendap sekunder adalah dua jenis bak pengendap yang berbeda dalam hal fungsi, proses, dan hasilnya. Berikut adalah beberapa perbedaan antara keduanya:

- a. Fungsi: Bak pengendap primer berfungsi untuk memisahkan partikel padat kasar, pasir, dan lemak yang dapat mengganggu

proses biologis selanjutnya. Bak pengendap sekunder berfungsi untuk memisahkan lumpur biologis yang terbentuk dari proses biologis dari air bersih yang dapat dibuang atau didaur ulang.

- b. Proses: Bak pengendap primer menerima air limbah mentah atau kasar yang belum mengalami proses biologis. Bak pengendap sekunder menerima air limbah yang telah mengalami proses biologis, seperti aerasi atau lumpur aktif.
- c. Hasil: Bak pengendap primer menghasilkan partikel padat kasar, pasir, dan lemak yang disebut sebagai *sludge* primer. *Sludge* primer memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan mudah terurai secara biologis. *Sludge* primer dapat diolah lebih lanjut dengan cara anaerobik atau aerobik untuk mengurangi volume dan bau. Bak pengendap sekunder menghasilkan lumpur biologis yang disebut sebagai *sludge* sekunder. *Sludge* sekunder memiliki kandungan bahan organik yang rendah dan sulit terurai secara biologis. *Sludge* sekunder dapat diolah lebih lanjut dengan cara mekanik, kimia, atau termal untuk mengurangi volume dan bau.
- d. Bentuk: Bak pengendap primer biasanya berbentuk persegi panjang atau bulat, dengan kedalaman antara 2,5-5 meter. Bak pengendap sekunder biasanya berbentuk bulat, dengan kedalaman antara 3-5 meter.
- e. Kriteria perencanaan: Bak pengendap primer dan bak pengendap sekunder memiliki kriteria perencanaan yang berbeda dalam hal *over flow rate* (OFR), waktu tinggal (Td), dimensi, persentase removal, bilangan Reynold, *slope*, *weir loading rate*, tinggi air di atas pelimpah, laju *recycle*, rasio *recycle*, dan kualitas lumpur.

Tabel 1. 2 Perbandingan Kriteria Perencanaan Antara Bak Pengendap Primer dan Bak Pengendap Sekunder

Kriteria	Bak Pengendap Primer	Bak Pengendap Sekunder
OFR (m ³ /m ² .h)	Average = 30-50; Peak = 70-130	Average = 20-40; Peak = 40-80
Td (jam)	0,6-3,6	1-4
Dimensi (m)	P = 10-100; L = 3-24; H = 2,5-5	D = 15-60; H = 3-5
Removal TSS (%)	50-70	90-95
Bilangan Reynold	<2000 (laminer)	<2000 (laminer)
<i>Slope</i> (%)	Rectangular = 1-2; Circular = 40-100 mm/m	Circular = 40-100 mm/m
<i>Weir loading rate</i> (m ³ /m.hari)	407-1628	407-1628
Tinggi air di atas pelimpah (mm)	1-2	1-2
Laju <i>recycle</i> (%)	-	50-200
Rasio <i>recycle</i>	-	0,5-1,5
Kualitas lumpur	<i>Volatile solid</i> = 60-90%; <i>Dry solid</i> = 3-8%	<i>Volatile solid</i> = 70-80%; <i>Dry solid</i> = 0,5-1%

4. Perhitungan Kapasitas Bak Pengendap

Untuk menghitung kapasitas bak pengendap, kita perlu mengetahui beberapa parameter, seperti laju alir air limbah, waktu tinggal, luas permukaan, dan kecepatan pengendapan partikel [12]. Berikut adalah rumus-rumus yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas bak pengendap:

- a. Laju alir air limbah (Q) adalah volume air limbah yang masuk ke bak pengendap per satuan waktu. Q dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = P \times q \quad 1.12$$

dimana P adalah jumlah penduduk yang menghasilkan air limbah, dan q adalah konsumsi air per kapita per hari. Satuan Q adalah meter kubik per hari (m^3/hari).

- b. Waktu tinggal (T_d) adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan air limbah untuk melewati bak pengendap. T_d dapat dihitung dengan rumus:

$$T_d = \frac{V}{Q} \quad 1.13$$

dimana V adalah volume bak pengendap. Satuan T_d adalah jam.

- c. Luas permukaan (A) adalah luas penampang melintang bak pengendap. A dapat dihitung dengan rumus:

$$A = \frac{Q}{OFR} \quad 1.14$$

dimana OFR adalah *over flow rate*, yaitu laju alir per satuan luas permukaan bak yang menentukan efisiensi pengendapan. Satuan A adalah meter persegi (m^2).

- d. Kecepatan pengendapan partikel (V_s) adalah laju jatuh partikel padat di dalam air limbah akibat gaya gravitasi. V_s dapat dihitung dengan rumus:

$$V_s = \frac{g \times (d_p - d_f) D^4}{18 \times \mu} \quad 1.15$$

dimana g adalah percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$), d_p adalah massa jenis partikel padat, d_f adalah massa jenis air limbah, D adalah diameter partikel padat, dan μ adalah viskositas air limbah. Satuan V_s adalah meter per detik (m/s).

Dengan mengetahui parameter-parameter tersebut, kita dapat menghitung kapasitas bak pengendap dengan rumus:

$$C = Q \times Td \times A \times Vs \quad 1.16$$

dimana C adalah kapasitas bak pengendap. Satuan C adalah meter kubik (m³).

1.6 Netralisasi dan Presipitasi

Netralisasi dan presipitasi adalah dua proses pengolahan limbah B3 secara kimia yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan zat-zat berbahaya yang terkandung dalam limbah cair atau *sludge*. Berikut adalah penjelasan lengkap dan detail mengenai netralisasi dan presipitasi menurut sumber yang lebih ilmiah:

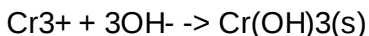
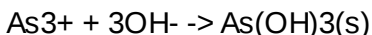
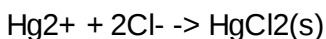
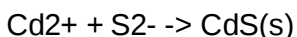
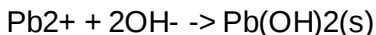
Netralisasi adalah proses pengaturan pH suatu limbah cair atau *sludge* agar tidak terlalu asam atau terlalu basa. pH adalah ukuran keasaman atau kebasaan suatu larutan yang berkisar dari 0 hingga 14. Larutan dengan pH di bawah 7 disebut asam, sedangkan larutan dengan pH di atas 7 disebut basa. Larutan dengan pH 7 disebut netral. Nilai pH yang optimal untuk lingkungan hidup adalah sekitar 6,5 hingga 8,5.

Limbah B3 yang memiliki pH terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat merusak ekosistem, menyebabkan korosi pada peralatan, dan mengganggu proses pengolahan limbah lainnya. Oleh karena itu, netralisasi dilakukan untuk menyesuaikan pH limbah B3 sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah. Netralisasi dapat dilakukan dengan menambahkan bahan kimia tertentu yang dapat menetralkan keasaman atau kebasaan limbah B3. Bahan kimia yang sering digunakan untuk netralisasi adalah natrium hidroksida (NaOH) atau kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) untuk menaikkan pH, dan asam sulfat (H₂SO₄) atau asam klorida (HCl) untuk menurunkan pH.

Presipitasi adalah proses pengendapan zat-zat terlarut dalam limbah B3 sebagai padatan yang tidak larut. Zat-zat terlarut yang sering menjadi target presipitasi adalah logam-logam beracun seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), arsen (As), dan kromium (Cr).

Logam-logam beracun ini dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan jika masuk ke dalam rantai makanan.

Presipitasi dilakukan dengan menambahkan bahan kimia tertentu yang dapat bereaksi dengan logam-logam beracun dan membentuk senyawa padat yang tidak larut. Senyawa padat ini kemudian dapat dipisahkan dari larutan dengan cara filtrasi, sedimentasi, atau sentrifugasi. Bahan kimia yang sering digunakan untuk presipitasi adalah hidroksida, sulfida, karbonat, fosfat, dan organik kompleks. Contoh reaksi presipitasi adalah sebagai berikut:



Netralisasi dan presipitasi sering dilakukan secara bersamaan dalam satu tahap pengolahan limbah B3. Hal ini karena pH larutan mempengaruhi kelarutan logam-logam beracun. Umumnya, logam-logam beracun lebih mudah mengendap sebagai hidroksida atau oksida pada pH tinggi (basa). Oleh karena itu, netralisasi dilakukan terlebih dahulu untuk meningkatkan pH larutan, kemudian presipitasi dilakukan untuk mengendapkan logam-logam beracun.

Netralisasi dan presipitasi tidak hanya digunakan untuk mengolah limbah B3, tetapi juga untuk mengolah limbah industri lainnya, seperti limbah tekstil, limbah pertambangan, limbah minyak bumi, dan limbah pertanian. Netralisasi dan presipitasi dapat mengurangi beban pencemaran yang dihasilkan oleh limbah industri tersebut, sehingga dapat melindungi lingkungan dan kesehatan manusia.

Netralisasi dan presipitasi memiliki beberapa keuntungan, seperti mudah dilakukan, murah, efektif, dan dapat menghasilkan produk sampingan yang dapat dimanfaatkan. Produk sampingan yang dihasilkan oleh netralisasi dan presipitasi adalah padatan yang mengandung logam-logam beracun. Padatan ini dapat dimanfaatkan

sebagai bahan baku industri, seperti baterai, katalis, pigmen, atau pupuk. Namun, produk sampingan ini juga harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

Netralisasi dan presipitasi juga memiliki beberapa kelemahan, seperti membutuhkan banyak bahan kimia, menghasilkan banyak lumpur, dan tidak dapat menghilangkan semua zat berbahaya. Banyaknya bahan kimia yang digunakan dapat meningkatkan biaya operasional dan menimbulkan masalah penanganan limbah kimia. Banyaknya lumpur yang dihasilkan dapat menyebabkan masalah penampungan, pengangkutan, dan pembuangan. Selain itu, netralisasi dan presipitasi tidak dapat menghilangkan zat berbahaya yang bersifat organik, seperti pestisida, fenol, atau hidrokarbon. Oleh karena itu, netralisasi dan presipitasi harus dikombinasikan dengan metode pengolahan limbah lainnya, seperti biologi atau fisika.

1.7 Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi adalah dua proses yang sering digunakan dalam pengolahan air untuk menghilangkan partikel-partikel yang tersuspensi dalam air. Partikel-partikel ini biasanya berupa koloid, yaitu zat yang memiliki ukuran sangat kecil dan bermuatan listrik, sehingga tidak mudah mengendap atau terpisah dari air. Koagulasi dan flokulasi bertujuan untuk menstabilkan atau mendestabilkan koloid, sehingga dapat membentuk gumpalan-gumpalan yang lebih besar dan lebih mudah disaring atau dipisahkan.

Koagulasi adalah proses kimia yang melibatkan penambahan zat-zat tertentu yang disebut koagulan ke dalam air. Koagulan ini berfungsi untuk mengurangi atau menetralkan muatan listrik pada permukaan koloid, sehingga koloid menjadi tidak stabil dan saling menarik satu sama lain. Koagulan yang sering digunakan adalah alum (aluminium sulfat), ferro sulfat, poli aluminium klorida (PAC), dan lain-lain. Koagulan ini bereaksi dengan koloid dan membentuk senyawa-

senyawa yang disebut *floc*, yaitu gumpalan-gumpalan kecil dari partikel-partikel yang terkoagulasi.

Flokulasi adalah proses fisik yang melibatkan pengadukan atau pencampuran air yang telah ditambahkan koagulan. Pengadukan ini bertujuan untuk mempercepat proses koagulasi dan membantu *floc-floc* yang terbentuk untuk saling bergabung menjadi lebih besar dan lebih padat. Flokulasi juga dapat melibatkan penambahan zat-zat tertentu yang disebut flokulan, yaitu polimer-polimer yang dapat mengikat *floc-floc* menjadi lebih kuat. Flokulan ini biasanya berupa poliakrilamida, polivinil alkohol, kitosan, dan lain-lain.

Proses koagulasi dan flokulasi sangat penting dalam pengolahan air, karena dapat menghilangkan partikel-partikel yang mengganggu kualitas air, seperti kotoran, warna, bau, logam berat, bakteri, virus, dan lain-lain. Proses ini juga dapat meningkatkan efisiensi proses-proses selanjutnya, seperti filtrasi, sedimentasi, flotasi, dan lain-lain. Proses koagulasi dan flokulasi harus dilakukan dengan memperhatikan faktor-faktor seperti jenis dan dosis koagulan dan flokulan, pH air, suhu air, waktu kontak, kecepatan pengadukan, dan lain-lain.

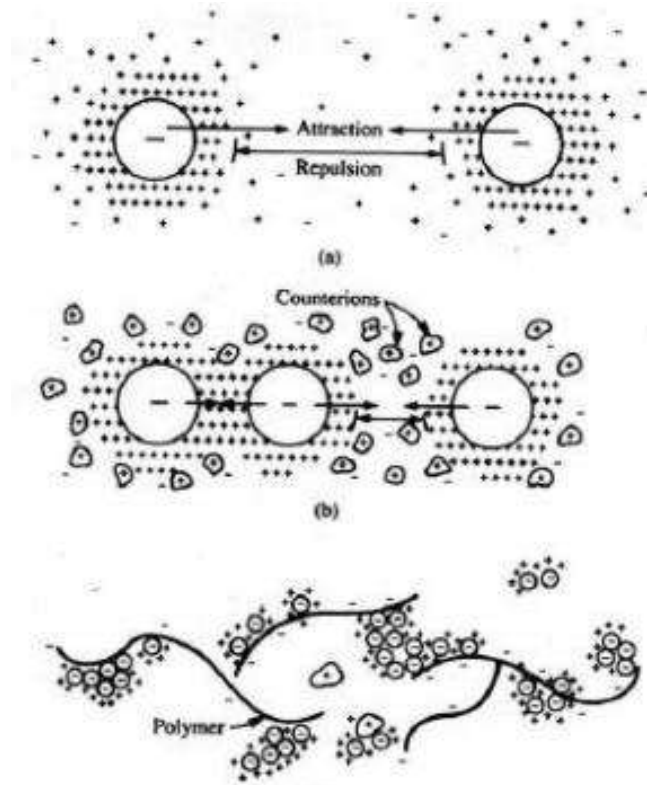
1. Mekanisme Koagulasi

Koagulasi adalah proses kimia yang melibatkan penambahan zat-zat tertentu yang disebut koagulan ke dalam air. Koagulan ini berfungsi untuk mengurangi atau menetralkan muatan listrik pada permukaan koloid, sehingga koloid menjadi tidak stabil dan saling menarik satu sama lain. Koagulan yang sering digunakan adalah alum (aluminium sulfat), ferro sulfat, poli aluminium klorida (PAC), dan lain-lain. Koagulan ini bereaksi dengan koloid dan membentuk senyawa-senyawa yang disebut *floc*, yaitu gumpalan-gumpalan kecil dari partikel-partikel yang terkoagulasi.

Mekanisme destabilisasi koloid dapat terjadi melalui tiga cara, yaitu:

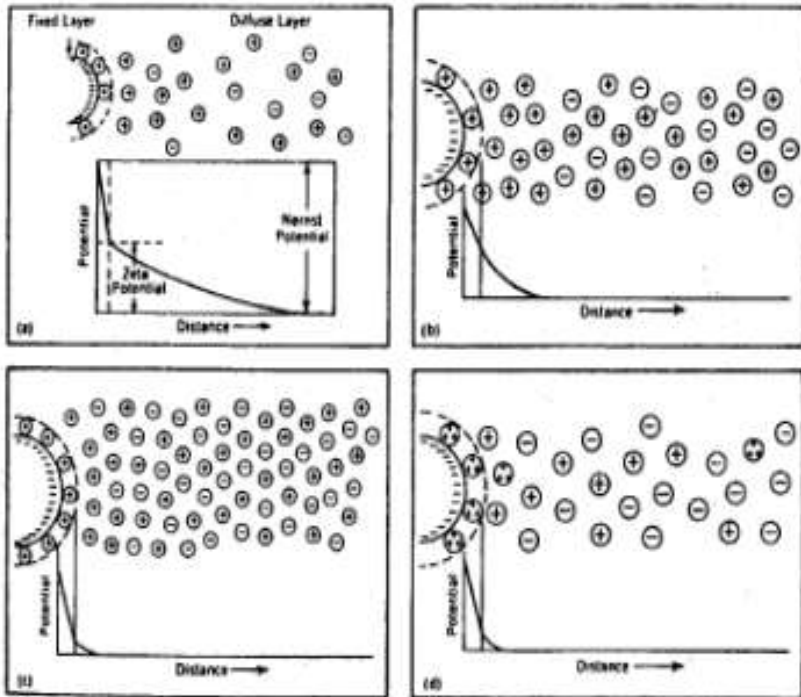
- a. Perusakan lapisan ganda (*double layer*). Lapisan ganda adalah lapisan tipis dari ion-ion yang mengelilingi permukaan koloid dan

memberikan muatan listrik pada koloid. Lapisan ganda ini dapat dirusak dengan menambahkan koagulan yang memiliki muatan berlawanan dengan koloid, sehingga muatan listrik pada lapisan ganda berkurang dan koloid menjadi tidak stabil.



Gambar 1. 6 Perusakan *Double layer*; (a) Koloid Stabil, (b) Penambahan Koagulan Menetralkan Muatan *Double layer*, (c) Aglomerasi Partikel terdestabilkan Jembatan Polimer [13]

- b. Penetralkan muatan koloid. Penetralkan muatan koloid adalah proses di mana koagulan yang memiliki muatan berlawanan dengan koloid berikatan secara langsung dengan permukaan koloid, sehingga muatan listrik pada koloid menjadi netral atau berkurang dan koloid menjadi tidak stabil.



Gambar 1. 7 Penetrasi Muatan; (a) Zeta Potensial, (b dan c) Penurunan Zeta Potensial karena Kompresi Lapisan Ion, (d) Adsorpsi dan Penetrasi Muatan [13]

- c. Penggabungan partikel koloid dengan adanya penambahan polimer. Polimer adalah molekul-molekul besar yang dapat berfungsi sebagai jembatan antara partikel-partikel koloid yang terdestabilisasi, sehingga partikel-partikel tersebut dapat bergabung menjadi *floc*.

2. Mekanisme Flokulasi

Flokulasi adalah proses fisik yang melibatkan pengadukan atau pencampuran air yang telah ditambahkan koagulan. Pengadukan ini bertujuan untuk mempercepat proses koagulasi dan membantu *floc-floc* yang terbentuk untuk saling bergabung menjadi lebih besar dan lebih padat. Flokulasi juga dapat melibatkan penambahan zat-zat

tertentu yang disebut flokulan, yaitu polimer-polimer yang dapat mengikat *floc-floc* menjadi lebih kuat.

Mekanisme flokulasi dapat terjadi melalui dua cara, yaitu:

- a. Tumbukan antara *floc-floc*. Tumbukan antara *floc-floc* adalah proses di mana *floc-floc* saling bersentuhan akibat dari pengadukan air, sehingga *floc-floc* tersebut dapat menyatu menjadi *floc* yang lebih besar.
- b. Interaksi polimer antara *floc-floc*. Interaksi polimer antara *floc-floc* adalah proses di mana polimer-polimer yang ditambahkan ke dalam air dapat berikatan dengan *floc-floc*, sehingga *floc-floc* tersebut menjadi lebih kuat dan tidak mudah pecah.

3. Faktor-faktor yang mempengaruhi koagulasi dan flokulasi.

Koagulasi dan flokulasi adalah proses yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti:

- a. Jenis dan dosis koagulan dan flokulan. Jenis dan dosis koagulan dan flokulan yang digunakan harus disesuaikan dengan karakteristik air yang akan diolah, seperti pH, suhu, turbiditas, warna, kandungan organik, dan lain-lain. Jenis dan dosis koagulan dan flokulan yang tepat dapat meningkatkan efektivitas koagulasi dan flokulasi, sedangkan jenis dan dosis koagulan dan flokulan yang salah dapat menurunkan efektivitas koagulasi dan flokulasi atau bahkan menyebabkan masalah lain, seperti *overdosing*, *underdosing*, atau *sludge production*.
- b. Kecepatan pengadukan. Kecepatan pengadukan adalah faktor yang sangat penting dalam koagulasi dan flokulasi, karena dapat mempengaruhi kontak antara partikel-partikel koloid, koagulan, flokulan, dan *floc*. Kecepatan pengadukan yang optimal dapat meningkatkan efisiensi koagulasi dan flokulasi, sedangkan kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menurunkan efisiensi koagulasi dan flokulasi atau bahkan menyebabkan masalah lain, seperti *shear force*, *floc breakage*, atau *floc re-stabilization*.
- c. Waktu kontak. Waktu kontak adalah faktor yang berkaitan dengan lamanya proses koagulasi dan flokulasi berlangsung. Waktu kontak yang optimal dapat memberikan kesempatan bagi partikel-

partikel koloid, koagulan, flokulan, dan *floc* untuk bereaksi secara maksimal, sedangkan waktu kontak yang terlalu singkat atau terlalu lama dapat menurunkan efektivitas koagulasi dan flokulasi atau bahkan menyebabkan masalah lain, seperti incomplete reaction, equilibrium reaction, atau chemical consumption.

Berikut adalah tabel yang menunjukkan nilai-nilai optimal dari beberapa faktor yang mempengaruhi koagulasi dan flokulasi:

Tabel 1. 3 Nilai-nilai Optimal dari Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Koagulasi dan Flokulasi

Faktor	Nilai optimal
Dosis alum	10-40 mg/L
Dosis ferro sulfat	20-80 mg/L
Dosis PAC	5-20 mg/L
Dosis polimer	0.1-1 mg/L
Kecepatan pengadukan cepat	100-300 s ⁻¹
Waktu pengadukan cepat	1-3 menit
Kecepatan pengadukan lambat	10-50 s ⁻¹
Waktu pengadukan lambat	10-30 menit

Efisiensi koagulasi dan flokulasi adalah ukuran yang menunjukkan seberapa baik proses tersebut dapat menghilangkan partikel-partikel yang tersuspensi dalam air. Efisiensi koagulasi dan flokulasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Efisiensi = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \times 100\% \quad 1.17$$

Di mana:

Efisiensi adalah persentase efisiensi koagulasi dan flokulasi

T_0 adalah turbiditas air sebelum proses koagulasi dan flokulasi dalam satuan NTU

T_1 adalah turbiditas air setelah proses koagulasi dan flokulasi dalam satuan NTU

Misalnya, jika air memiliki turbiditas sebelum proses koagulasi dan flokulasi sebesar 100 NTU, dan setelah proses koagulasi dan flokulasi sebesar 10 NTU, maka efisiensi koagulasi dan flokulasi adalah:

$$E = \frac{100 - 10}{100} \times 100\%$$

$$Efisiensi = 90\%$$

Ini berarti proses koagulasi dan flokulasi dapat mengurangi turbiditas air sebesar 90%. Semakin tinggi efisiensi koagulasi dan flokulasi, semakin baik kualitas air yang dihasilkan. Efisiensi koagulasi dan flokulasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis dan dosis koagulan dan flokulan, pH air, suhu air, waktu kontak, kecepatan pengadukan, dan lain-lain.

Untuk menghitung dosis koagulan yang dibutuhkan, dapat digunakan rumus berikut [13]:

$$Dosis = \frac{Konsentrasi\ Koagulan \times Volume\ Air}{Berat\ Molekul\ Koagulan} \quad 1.18$$

Di mana:

- Dosis adalah jumlah koagulan yang ditambahkan dalam satuan mg/L
- Konsentrasi koagulan adalah konsentrasi larutan koagulan dalam satuan g/L
- Volume air adalah volume air yang akan diolah dalam satuan L
- Berat molekul koagulan adalah berat molekul zat aktif dalam koagulan dalam satuan g/mol

Misalnya, jika ingin menambahkan alum ($Al_2(SO_4)_3$) dengan konsentrasi 100 g/L ke dalam 1000 L air, maka dosis alum yang dibutuhkan adalah:

$$Dosis = \frac{\frac{100g}{L} \times 1000L}{342,15\ g/mol}$$

$$Dosis = 292,4\ mg/L$$

Untuk menghitung gradien kecepatan pengadukan, dapat digunakan rumus berikut:

$$G = \sqrt{\frac{P}{V\mu}} \quad 1.19$$

Di mana:

- G adalah gradien kecepatan pengadukan dalam satuan s^{-1}
- P adalah rata-rata konsumsi energi pada sistem dalam satuan W
- V adalah volume koloid dalam satuan m^3
- μ adalah viskositas air dalam satuan Pa.s

Misalnya, jika sistem pengadukan memiliki konsumsi energi 100 W, volume koloid $1 m^3$, dan viskositas air 0.001 Pa.s, maka gradien kecepatan pengadukan adalah:

$$G = \sqrt{\frac{100W}{1m^3 \times 0,001 Pa.s}}$$

$$G = 316,2 s^{-1}$$

Untuk perhitungan mengenai flokulasi, ada beberapa rumus yang dapat digunakan, antara lain:

Untuk menghitung ukuran flok yang terbentuk, dapat digunakan rumus berikut:

$$d_f = \frac{d_p}{\sqrt{1 - \phi}} \quad 1.20$$

Di mana:

d_f adalah diameter flok dalam satuan m

d_s adalah diameter partikel koloid dalam satuan m

ϕ adalah fraksi volume partikel koloid dalam flok

Misalnya, jika partikel koloid memiliki diameter $0.1 \mu m$ dan fraksi volume 0.01, maka ukuran flok yang terbentuk adalah:

Untuk menghitung kecepatan pengendapan flok, dapat digunakan rumus berikut:

$$v_s = \frac{g(\rho_p - \rho_f)d_f^2}{18\mu} \quad 1.21$$

Di mana:

v_s adalah kecepatan pengendapan flok dalam satuan m/s

g adalah percepatan gravitasi dalam satuan m/s^2

ρ_p adalah massa jenis partikel koloid dalam satuan kg/m^3

ρ_f adalah massa jenis air dalam satuan kg/m^3

μ adalah viskositas air dalam satuan Pa.s

Misalnya, jika partikel koloid memiliki massa jenis 2500 kg/m^3 , air memiliki massa jenis 1000 kg/m^3 dan viskositas 0.001 Pa.s , dan flok memiliki ukuran $0.101 \text{ } \mu\text{m}$, maka kecepatan pengendapan flok adalah:

$$v_s = \frac{9,8 \text{ m/s}^2 (2500 - 1000) \text{ kg/m}^3 (0,101 \times 10^{-6} \text{ m})^2}{18 \times 0,001 \text{ Pa.s}}$$

$$v_s = 2,32 \times 10^{-11} \text{ m/s}$$

1.8 Desinfeksi

Desinfeksi dalam sistem pengolahan air limbah adalah proses yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan jumlah mikroorganisme patogen penyebab penyakit yang terdapat di dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Desinfeksi dapat dilakukan dengan menggunakan bahan kimia yang disebut desinfektan atau dengan cara fisik seperti panas, sinar ultraviolet, atau radiasi [14].

Desinfeksi biasanya dilakukan setelah proses pengolahan primer, sekunder, atau tersier, yang bertujuan untuk mengurangi kandungan bahan organik, padatan tersuspensi, nutrisi, logam berat, dan senyawa toksik lainnya dalam air limbah. Desinfeksi merupakan tahap akhir dari sistem pengolahan air limbah yang menjamin kualitas air

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. Jauharoh, A. Nurmiyanto, and A. Yulianto, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Kegiatan Pelapisan Logam (Elektroplating) Skala Kecil dan Menengah (IKM X) di Daerah Istimewah Yogyakarta," *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, vol. 12, no. 1, hal. 25-44, 2020. [Online].
- [2] H.D. Prabowo and I.F. Puwanti, "Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Hotel X di Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 1, hal. 1-6, 2015. [Online]. Tersedia:
- [3] H. Dermawan, *Praktikum Mekanika Tanah. Modul. Universitas Pendidikan Indonesia*, Bandung, 2012..
- [4] A. Kurniawan, R. A. Prasetyo, dan A. S. Wibowo, *Efisiensi Operasional Pengumpulan Sampah dengan Penentuan Jadwal dan Waktu Baku Elemen Gerakan pada TPS Sistem Kontainer Tetap Kota Malang. Laporan Penelitian. Universitas Brawijaya, Malang*, 2017.
- [5] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *Standar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) dan Tempat Pengelolaan Sampah Reduce, Reuse, Recycle (TPS3R) di Wilayah Ibu Kota Nusantara untuk Usaha/Kegiatan Risiko Menengah Rendah*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2020. [Online].
- [6] Badan Standardisasi Nasional, *Standar Nasional Indonesia: Saringan Sampah*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2008. [Online]. Available: https://upstdlh.id/files/SNI_3242-2008.pdf.
- [7] *Perencanaan hidraulik, operasi dan pemeliharaan bangunan penangkap pasir tipe PUSAIR*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004. [Online].

- [8] Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, "Perencanaan hidraulik, operasi dan pemeliharaan bangunan penangkap pasir tipe PUSAIR," Jakarta, 2004.
- [9] Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, "Bangunan Penangkap Pasir Tipe Pusair II - TeknoPU - Kementerian PUPR," Jakarta, 2010.
- [10] J. W. J. Nainggolan, "Kajian Hidraulik Bangunan Penangkap Sedimen Pada Jaringan Irigasi Bendung Manjuntio," Skripsi, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, 2020.
- [11] <https://youngamq.blogspot.com/2015/05/kolam-fakultatif.html>
- [12] http://water.lecture.ub.ac.id/files/2012/05/29544_SNI-6773_2008-1_Spesifikasi-unit-paket-instalasi-pengolahan-air.pdf
- [13] http://shintarosalia.lecture.ub.ac.id/files/2012/03/SRD_koagulasi-flokulasi.pdf
- [14] N. I. Said, "Disinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum," Jurnal Air Indonesia, 2007.
- [15] N. Afiah, M. Rapi, and Jamilah, "Pengaruh Aklimatisasi Lumpur Aktif Terhadap Limbah Cair Dari Pabrik Pangan," Bioscientist, vol. 10, no. 2, pp. 1-20, Dec. 2022.
- [16] M. Sholichin, "Pengelolaan Air Limbah: Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Biakan Tersuspensi," Jurusan Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya, 2012.
- [17] R. O. Shalindry, Rochmadi, and W. Budhijanto, "Penguraian Limbah Organik secara Aerobik dengan Aerasi Menggunakan Microbubble Generator dalam Kolam dengan Imobilisasi Bakteri," Jurnal Rekayasa Proses, vol. 9, no. 2, 2015.
- [18] A. Asadiya and N. Karnaningroem, "Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Proses Aerasi, Pengendapan, dan Filtrasi Media Zeolit-Arang Aktif," Jurnal Teknik ITS. Vol.7, No.1, 2018.

- [19] Z. J. N. Rochim, N.F. Fariha and A.M. Abadi, "Sistem Kendali Fuzzy Pengolahan Air Limbah UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)," Seminar Matematika dan pendidikan Matematika UNY, 2017.
- [20] W. Putri dan A. Nur, "Review Pengolahan Air Limbah Menggunakan Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) di Negara Berkembang," CIVED, vol. 10, no. 2, 2023.
- [21] A. Alijoyo, B. Wijaya, dan I. Jacob, "Environmental Risk Assessment," LSP MKS, 2020.
- [22] R. Ratnawati, M. Al Kholif, dan Sugito, "Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Biofilter untuk Mengolah Air Limbah Poliklinik UNIPA Surabaya," 2020.
- [23] B. S. Utama, M. E. Simorangkir, dan I. N. Widiassa, "Pemisahan Fat, Oil, and Grease (FOG) Dari Limbah Foodcourt Dengan Dissolved Air Flotation," Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vo.1, No.1, Hal.98-102, 2012.
- [24] A. T. Saputra, "Makalah Pengolahan Limbah Dengan Reaksi Netralisasi," Academia.edu, 2015.
- [25] R. Widjajanti, "Netralisasi Pada Pengolahan Limbah," Jurnal Kimia dan Kemasan, Kemenperin, 1995
- [26] A. Sukmana, "Pengolahan Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)," Academia.edu, 2023.
- [27] R. D. Jayanti, "BAB4PROSES," Academia.edu, 2023. [Online]. Available: <https://www.academia.edu/23928157/BAB4PROSES>.
- [28] N.I. Said, "Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan proses Biofilm Tercelup," Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol.1, No.2, 2000.
- [29] I.G. Wenten, "Teknologi Membran dan Aplikasinya di Indonesia," Diktat, Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, 2010.
- [30] B. Syahputra, Soedarsono, H. Poedjiastoeti, "Buku ajar; Perancangan Bangunan Pengolahan Air Minum," 2020. [Online]. Tersedia:

https://www.academia.edu/83506494/BAB_9_PENGOLAHAN_L_UMPUR_SLUDGE_TREATMENT_

- [31] M. F. Ummah, "Pengeringan Lumpur IPAL Biologis pada Unit Sludge Drying Bed (SDB)," Skripsi Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [32] O. Purwatiningrum, "Gambaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal di Kelurahan Simokerto, Kecamatan Simokerto, Kota Surabaya," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, Vol.10, No.2, 2018.
- [33] N. Quraini, M. Busyairi, F. Adnan, "Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Berbasis Masyarakat Kelurahan Masjid Samarinda Seberang," *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, Vol.6, No.1, 2022.
- [34] D. Susanthi, M. Y. J. Purwanto, Suprihatin, "Evaluasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan IPAL Komunal di Kota Bogor," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 19, No.2, 2018.
- [35] Sudarmadji dan Hamdi, "Tangki Septik dan Peresapannya Sebagai Sistem Pembuangan Air Kotor di Permukiman Rumah Tinggal Keluarga," *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.9, No. 2, 2013.
- [36] SNI: 03-2398-2002-Tata Cara Perencanaan Tangki Septik dengan Sistem Peresapan.
- [37] Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. *Juknis IPAL Budidaya Udang 2019*. Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2019
- [38] <https://sswm.info/factsheet/anaerobic-baffled-reactor-%28abr%29>
- [39] Y.R. Firmansyah, dan M. Razif, "Perbandingan Desain IPAL Anaerobik Biofilter dengan Rotating Biological Contactor untuk Limbah Cair Tekstil di Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 5, No.2, 2016.
- [40] Neshart, et.al, "Perencanaan Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Metode Biofilter Anaerob-Aerob," *Jurnal Teluk*, Vol.1, No.1, 14-19, 2021.

- [41] Hatijah, et.al," Efektifitas Saringan Biofilter Anaerob dan Aerob dalam Menurunkan Kadar BOD5 COD dan Nitrogen Total Limbah Cair Industri Karet," Jurnal MKMI, Vol.6, No.4, hal.215-221, 2021.
- [42] http://www.water.lecture.ub.ac.id/files/2012/05/perencanaan_pengelolaan_air_limbah_dengan_sistem_terpusat.pdf
- [43] Marhadi," Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Tahu di Kecamatan Dendang Kabupaten Tanjung Jabung Timur," Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi, Vol.16, No. 1, 2016.
- [44] Damayanti dan I.F, Purwanti," Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya," Jurnal Teknik ITS, Vol.5, No.2, 2016.
- [45] Dwiyono dan Y.S. Dewi,"Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik System Lumpur Aktif di Gedung Trans Mart," Jurnal TechLINK, Vol.2, No.2, 2018.