

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Rumah Potong Ayam

Usaha industri Rumah Potongan Ayam (RPA) di Indonesia semakin berkembang pesat seiring dengan permintaan konsumsi daging ayam oleh masyarakat Indonesia. Konsumsi daging ayam masyarakat Indonesia terbilang tinggi, karena harga ayam yang cukup terjangkau dan banyak menu masakan yang didominasi oleh daging ayam (Novita, et al., 2021). Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan RPA yang tidak dilakukan pengolahan sebelum dibuang, akan menimbulkan pencemaran lingkungan. Limbah tersebut yang dihasilkan oleh proses produksi rumah pemotongan ayam memiliki sifat organik yang bersumber dari air bekas cucian ayam, darah ayam, maupun *sludge* (endapan lemak). PT X merupakan industri yang bergerak dibidang rumah potong ayam dan olahan daging dimana kapasitas produksi ayam potong PT X berdasarkan izin yakni sebesar 40.000 ekor/hari dan 30 Ton/Hari untuk produk olahan daging. Limbah cair yang dihasilkan dari effluen buangan kegiatan industri produksi pemotongan ayam memiliki kandungan zat organik yang dinilai cukup tinggi (Alfasyimi, 2022).

2.2 Karakteristik Limbah Rumah Potong Ayam (RPA)

Kualitas effluen buangan air limbah hasil kegiatan operasional produksi Rumah Potong Ayam (RPA) PT X dapat diketahui berdasarkan hasil analisis laboratorium dapat diidentifikasi melalui hasil analisis laboratorium terhadap 5 parameter yang diuji diantaranya yakni parameter *Biochemical Oxygen Demand*, *Chemical Oxygen Demand*, *Total Suspended Solid*, *Ammonia NH3-N*, dan Minyak Lemak.

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran
1.	<i>Biochemical Oxygen Demand, BOD</i>	mg/L	1648
2.	<i>Chemical Oxygen Demand, COD</i>	mg/L	2603
3.	<i>Total Suspended Solid, TSS</i>	mg/L	1212
4.	Ammonia, NH ₃ -N	mg/L	141
5.	Minyak Lemak	mg/L	180

Gambar 2.1 Karakteristik Limbah RPA

2.2.1 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis (*biological oxidation*) di dalam air limbah secara dekomposisi aerobik (Metcalf and Eddy, 2003). Pengukuran BOD digunakan untuk mendapatkan besaran karbon organik yang dapat diuraikan secara biologis. Dalam hal ini, BOD diukur dengan menggunakan pendekatan periode 5 (lima) hari atau disebut juga dengan BOD₅. BOD₅ juga telah menjadi metode yang disetujui dan diterapkan oleh *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)* dalam pemantauan kualitas air limbah domestik (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Kandungan BOD yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan PermenLH No.5 Tahun 2014 adalah sebesar 100 mg/L.

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. Katika 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:



2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Metcalf & Eddy et al., 2007). Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan-ikan dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan hidup. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat. (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Hubungan antara COD dan BOD mempengaruhi proses pengolahan air limbah. Rasio BOD/COD dari air limbah optimal untuk pengolahan biologis adalah berkisar dari 0.1 sampai 0.8. Rasio BOD/COD optimal yang didapatkan pada proses Aerob berada pada rasio 0,1, proses Fakultatif pada rasio 0,2 dan proses Anaerob yaitu rasio 0,2. Semua rasio sebenarnya dapat dipakai tetapi apabila dilihat dari efisiensi yang paling baik adalah

proses aerob dengan rasio BOD/COD awal 0,1 sehingga dikatakan rasio yang paling optimal (Putri et al., 2012).

2.2.3 *Total Suspended Solid*

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sukar mengendap, melayang-layang, dan tidak larut di dalam air. Padatan TSS memiliki sifat sukar mengendap akibat muatan elektrostatik dan gerak brown sehingga stabil di dalam air. Padatan tersuspensi sangat berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2003). Kandungan TSS yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan PermenLH No.5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 100 mg/L.

Padatan tersuspensi yang terdapat pada parameter TSS merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal mineral-mineral misalnya pasir yang sangat halus, silt, lempung, atau berasal dari zat organik asam sulfat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Di samping itu, padatan tersuspensi ini dapat berasal dari mikroorganisme misalnya plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. Semua elemen-elemen tersebut umumnya menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air.

2.2.4 *Ammonia (NH₃)*

Kandungan *ammonia* dalam air dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan organisme dalam perairan. Secara kimia, keberadaan amonia dalam air berupa amonia terlarut ($\square\square\square$) dan ion *ammonium* ($\square\square_4^+$). *Ammonia* bebas ($\square\square_3$) yang tidak terionisasi akan bersifat toksik. Kadar *amonia* bebas meningkat sejalan dengan

meningkatkan pH dan suhu perairan. Sifat toksik pada *amonia* dipengaruhi oleh pH, suhu, dan kadar oksigen terlarut. Kondisi *amonia* pada pH rendah akan bersifat racun jika jumlahnya banyak, sedangkan *amonia* pada pH tinggi juga akan bersifat racun meskipun jumlahnya rendah. Penurunan kadar oksigen terlarut akan meningkatkan toksitas amonia dalam perairan.

Kandungan amonia ($\square\square\square$) bersifat mudah terlarut dalam air. Ion *amonium* adalah bentuk transisi dari amonia. Sumber amonia yang ada di perairan adalah pemecahan nitrogen organik dan nitrogen anorganik yang terdapat di dalam tanah dan air dan berasal dari dekomposisi bahan organik seperti mikroba, proses ini disebut dengan proses amonifikasi (Nadhira, 2015).

2.2.5 Minyak-Lemak

Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak di dapatkan di dalam air limbah. Lemak dan minyak membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam lemak. Gliserida dari asam lemak ini berupa cairan pada keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental sebagai lemak. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah untuk diuraikan oleh bakteri. Sebagai petunjuk dalam mengelola air limbah, maka efek buruk yang dapat menimbulkan permasalahan pada dua hal yaitu pada saluran air limbah dan pada bangunan pengolahan. Apabila lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah dapat mempengaruhi kehidupan yang ada dipermukaan air, dan menimbulkan lapisan tipis di permukaan, sehingga membentuk selamut. Kadar lemak sebesar 15-20 mg/L merupakan batas yang bisa ditolerir apabila lemak ini berada di dalam air limbah (Sugiharto, 1987). Parameter minyak dan lemak dapat ditemukan karena limbah cair industri batik merupakan hasil dari pemisahan sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian.

2.3 Unit Pengolahan Air Limbah Industri Rumah Potong Ayam

2.3.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Proses pengolahan awal ini merupakan proses pada awal pengolahan secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar atau sedang dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Selain itu *pre-treatment* juga berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan air limbah dari unit operasi produk industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan air limbahnya. Unit proses pengolahan *pre-treatment* untuk industri rumah potong ayam meliputi:

2.3.1.1 Saluran Pembawa

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

Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (*atmosfer*). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Sedangkan saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (*atmosfer*). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem *sewerage*. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.



Gambar 2.2 Saluran Terbuka dan Tertutup

2.3.1.2 *Bar Screen*

Screening atau saringan dilakukan pada tahap paling awal dalam proses pengolahan air limbah. Secara umum, proses *screening* dilakukan untuk memisahkan berbagai benda padat yang ada pada air limbah seperti kertas, plastik, kayu, kain, dan benda padat lainnya. Benda-benda tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pemompaan dan unit peralatan pemisah lumpur serta sistem perpipaan jika tidak dipisahkan terlebih dahulu dalam air limbah (Said, 2017). Tujuan dari unit ini adalah untuk menahan sampah/benda-benda padat besar yang terbawa dalam lumpur tinja agar tidak mengganggu dan mengurangi beban pada sistem pengolahan selanjutnya (Dirjen Cipta Karya, 2013).

Screening diklasifikasikan menjadi 3. Didalamnya terdapat batang paralel, batang atau kawat, kisi-kisi, kasa kawat, atau pelat berlubang, dan bukaan dapat berbentuk apapun tetapi umumnya adalah slot melingkar atau persegi panjang. *Screen* yang terdiri dari batang atau batang paralel sering disebut “*bar rack*” atau *coarse screen* dan digunakan untuk menghilangkan padatan kasar (Metcalf & Eddy, 2003).

Berikut ini merupakan macam-macam *screen*:

1. *Coarse Screen* (Penyaring Kasar)

Penyaring kasar atau *coarse screen* digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh sampah yang berukuran 6-150 mm. Pembersihan penyaring kasar dapat secara manual dengan memanfaatkan tenaga manusia atau dengan mekanis. Pembersihan

secara manual biasanya dilakukan pada industri kecil maupun sedang. Sampah padat yang berukuran sedang atau besar disaring dengan sederet baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran. *Screening* dengan pembersihan secara mekanik, bahan nya terbuat dari *stainless steel* atau dari plastik.



Gambar 2.3 Coarse Screen

Sumber: <https://filtrationchina.com/blog/what-is-coarse-screen.html>

Tabel 2. 1 Kriteria Perencanaan Coarse Screen

Parameter	U.S Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanik	Unit	Manual	Mekanik
Ukuran Batang						
Lebar	Inch	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6	mm	5 - 15	5 - 15
Kedalaman	Inch	1,0 - 1,6	1,0 - 1,6	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar batang	Inch	1,0 - 2,0	0,6 - 3,0	mm	25 - 50	15 - 75

Kemiringan vertical	°	30 -45	0 - 30	°	30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
Maksimum	Ft/s	1,0 - 2,0	2,0 - 3,25	m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0
Minimum	Ft/s		1,0 - 1,6	m/s		0,3 - 0,5
Headloss	Inch	6	6 -24	mm	150	150 - 600
Harga	Rp76.000.000,00					

Sumber: *(Metcalf And Eddy WWET, And Reuse 4th Edition, Halaman 316)*

2. Fine Screen (Penyaring Halus)

Fine screen atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm. Screen ini dapat digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre-Treatment*) maupun pengolahan pertama atau utama (*Primary Treatment*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Preliminary Treatment*) adalah seperti, ayakan kawat (*static wedge wire*), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/*primary clarifier*) pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m³/dt. Screen tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS.



Gambar 2.4 Fine Screen

Sumber: (<https://jsboeep.en.made-in-china.com/product/gCxQIvSyLXVo/China-Fine-Screens-at-Wastewater-Treatment-Plant-rsquot-S-Headworks-Design-Projects.html>)

Tabel 2. 2 Klasifikasi Fine Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inch	mm		
Miring	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan
Drum (berputar)	Kasar	0,1 - 0,2	2,5 - 5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-	Pengolahan pendahuluan

					steel	Pengolahan primer
	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5		Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	
	Halus	-	6 - 35 μm		Stainless-steel dan kain polyester	Meremoval residual dari solid sekunder
<i>Horizontal Reciprocating Tangential</i>	Sedang	0,06	0,17		Batangan stainless-steel	Gabungan dengan saluran air hujan
	Halus	0,0475	1200 μm		Jala-jala yang terbuat dari stainless-steel	Gabungan dengan saluran pembawa
Harga	Rp38.000.000,00					

Sumber: (Metcalf And Eddy WWET, And Reuse 4th Edition, Tabel 5.4)

3. *Micro Screen*

Microscreens berfungsi untuk menyaring padatan halus, yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Prinsip dari *microscreens* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/detik, sehingga bahan padatan bahan padatan yang tertahan di depan tidak terjepit. Jarak antar batang adalah 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut persegi empat, dengan panjang berukuran 10 mm x 50 mm.



Gambar 2.5 Micro Screen

Sumber: (<https://hubert.nl/waste-water-treatment-machinery/micro-screen/>)

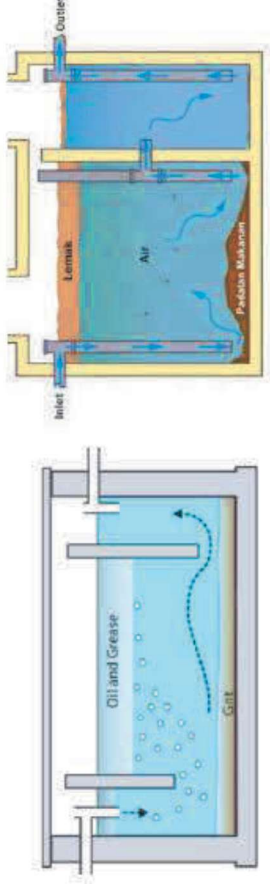
Pada unit pengolahan air limbah ini menggunakan bar screen jenis penyaringan kasar (*coarse screen*).

2.3.1.3 Grease Trap

Bak pemisah minyak lemak atau grease trap merupakan unit pengolahan pendahuluan yang memiliki tujuan untuk memisahkan lemak atau minyak yang tersisa, juga mengendapkan kotoran pasir dan sebagainya yang belum terurai secara biologis pada tangki septic (Morel & Diener, 2006). Kandungan minyak atau lemak yang cukup tinggi di dalam air limbah akan menyebabkan terhambatnya proses transfer oksigen di dalam pengolahan biologis yang dapat menyebabkan kinerja dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) kurang maksimal (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2011). Umumnya, grease trap terdiri dari dua kompartemen. Kompartemen pertama dengan ukuran $\frac{2}{3}$ total panjang berfungsi menyisahkan berbagai padatan dalam lumpur ($\rho \text{ padatan} > \rho \text{ air} = \text{padatan akan mengendap}$, $\rho \text{ padatan} < \rho \text{ air} = \text{padatan akan mengapung, contoh: minyak dan lemak}$). Sedangkan, kompartemen kedua dengan ukuran $\frac{1}{3}$ total panjang berfungsi memastikan minyak lemak tidak terbawa menuju pengolahan selanjutnya (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018).

Kelebihan dari unit grease trap ini yakni Mencegah penyumbatan dan gangguan unit selanjutnya yang diakibatkan oleh minyak dan lemak. Sedangkan kekurangan dari

unit ini yakni diperlukan pembersihan scum secara berkala dan menambah kebutuhan lahan.



Gambar 2.6 Grease Trap

Menurut Maharani & Tangahu (2017), dalam memisahkan minyak dan lemak, unit grease trap bekerja dengan kecepatan lambat. Kecepatan lambat tersebut bermaksud memberikan waktu minyak dan lemak agar terpisah dengan air secara gaya gravitasi. Mekanismenya yaitu, air limbah masuk ke kompartemen pertama, berlangsung proses secara gaya gravitasi kemudian membentuk lapisan minyak dan lemak pada lapisan atas, sedangkan air limbah pada lapisan bawah. Minyak dan lemak yang terbentuk dalam unit tersebut dapat dipisahkan menggunakan pengambilan manual maupun mekanikal. Air limbah lanjut masuk dalam tangki kedua, dengan catatan masih mengandung minyak dan lemak, namun dalam jumlah yang relatif sedikit. Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), menyebutkan bahwa unit grease trap dapat meremoval 80% minyak dan lemak, juga menurut Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya (2015), unit ini dapat menyisahkan $\pm 95\%$ minyak dan lemak.

2.3.1.4 Bak Ekuualisasi

Bak ekuualisasi merupakan bangunan yang berfungsi untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak ekuualisasi maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air

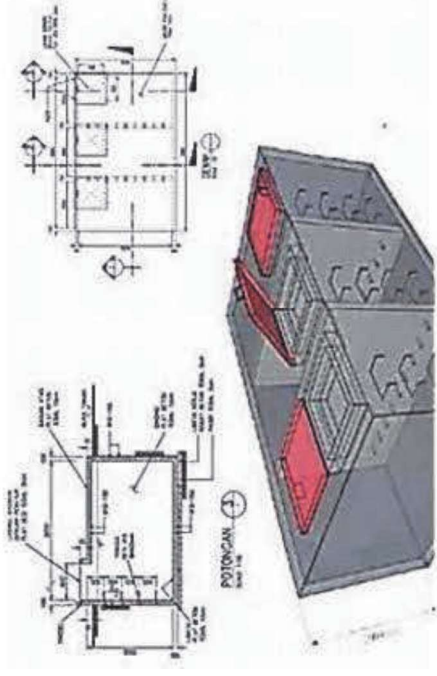
saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (*inlet*) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak equalisasi, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Takashi Asano & Professor, 2007).

Bak equalisasi secara sederhana dapat diartikan sebagai bak yang digunakan untuk menstabilkan aliran air guna menghasilkan parameter pencemar yang konstan setiap waktu atau dapat juga dibilang relatif mendekati konstan sehingga dapat digunakan pada berbagai macam situasi, bergantung pada sistem pengumpulan yang digunakan. Manfaat utama dari aplikasi bak equalisasi antara lain:

1. Pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena shock loading rate mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan.
2. Kualitas effluent dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pembuatan padatan.
3. Kebutuhan luas permukaan dalam unit filtrasi dapat dikurangi, kinerja filter ditingkatkan, dan siklus backwash pada filter yang beragam dimungkinkan dilakukan dengan muatan hidrolik yang lebih rendah (efisiensi penggunaan).
4. Dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya.

Namun, unit bak equalisasi juga memiliki kekurangan diantaranya adalah:

1. Memerlukan area/lokasi yang cukup luas.
2. Mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal.
3. Memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat



Gambar 2.7 Bak Ekualisasi

Sumber: (myrumahedu.blogspot.com)

2.3.2 Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

Primary treatment dalam pengolahan air buangan adalah tahap pertama dalam sistem pengolahan limbah cair, dimana beberapa proses fisika dan kimia dikerjakan. Tujuan dari *primary treatment* adalah untuk memisahkan zat padat, baik organik maupun anorganik, serta minyak dan lemak dari zat cair dengan menggunakan proses fisika dan kimia. Hasilnya, air tampak jernih, memiliki pH netral, dan tidak mengandung logam berat. Limbah pengolahan air yang dievaluasi dalam pengolahan primer air limbah domestik efektif dalam peningkatan klarifikasi dibandingkan dengan sedimentasi alami. Peningkatan klarifikasi yang dicapai dengan penambahan lumpur mentah Wastewater Treatment dan lumpur reaktif disebabkan oleh kontribusi aluminium dan besi dalam kedua lumpur, yang bertindak sebagai koagulan yang mendukung penggumpalan partikel dan penghapusan selanjutnya oleh sedimentasi (Rachmawati, R., 2020).

2.3.2.1 *Dissolved Air Flotation (DAF)*

DAF merupakan proses pemisahan padatan, minyak dan kontaminan tersuspensi lainnya dengan menggunakan gelembung udara. Udara yang ditambahkan ke dalam air akan tercampur dengan aliran air dan terlepas dari larutan ketika terjadi kontak dengan kontaminan. Gelembung udara menempel pada padatan, meningkatkan

daya apung dan mengangkat padatan ke permukaan air. Pada sistem DAF, udara dilarutkan di dalam cairan di bawah tekanan beberapa atmosfer sampai jenuh, kemudian dilepaskan ke tekanan atmosfer. Akibat terjadinya perubahan tekanan maka udara yang terlarut akan lepas kembali dalam bentuk gelembung yang sangat halus (30 – 120 mikron). Ukuran gelembung udara sangat menentukan dalam proses flotasi, makin besar ukuran gelembung udara, kecepatan naiknya juga makin besar, sehingga kontak antara gelembung udara dengan partikel tidak berjalan dengan baik. Dengan demikian proses flotasi menjadi tidak efektif. Aplikasi dari sistem *Dissolved Air Flotation* di Industri menurut (Baum dan Hurst, 1953) adalah:

1. Pemisahan partikel tersuspensi sebagai pengganti sedimentasi.
2. Pemisahan partikel *koloid*, sebagai pengganti *filtrasi*.
3. Pengolahan tingkat pertama, untuk meringankan beban sistem *filtrasi*.
4. Pemisahan minyak dan lemak, memberikan efisiensi pemisahan yang tinggi untuk emulsi dan fraksi yang *terdispersi*.
5. Pengolahan tingkat pertama dari operasi pengolahan lumpur aktif.



Gambar 2.8 Dissolved Air Flotation

Sumber: (Adlan, M.N., *A study of dissolved air flotation tank design variables and separation zone performance. PhD thesis, University of Newcastle Upon Tyne, 1998*)

Unit pengolahan DAF menggunakan konsep flotasi dan koagulasi flokulasi dalam sistem pengolahan sebagai berikut :

1. *Flotasi*

Flotasi adalah unit operasi untuk memisahkan fase cair atau fasa padat dari fasa cair. Pemisahan partikel dari cairannya pada proses *flotasi* didasarkan pada perbedaan berat jenis partikel dengan bantuan gelembung udara. *Flotasi* bertujuan untuk memisahkan antara minyak atau lemak dengan air. Massa jenis yang relatif rendah akan membuat minyak atau lemak mengapung pada permukaan air. Minyak atau lemak yang mengapung akan digerus dengan *scraper* dan dipisahkan dari air (Eddy, 2003). Berdasarkan mekanisme pemisahannya :

- a. Bisa berlangsung secara fisik, yaitu tanpa penggunaan bahan untuk membantu percepatan *flotasi*, hal ini bisa terjadi karena partikel – partikel *suspensi* yang terdapat dalam air limbah akan mengalami tekanan ke atas, sehingga mengapung di permukaan karena berat jenisnya lebih rendah dibanding berat jenis air limbah.
- b. Bisa dilakukan dengan penambahan bahan, yaitu : udara atau bahan polimer yang diinjeksikan ke dalam cairan pembawanya, yang dapat mempercepat laju partikel ringan menuju permukaan. Untuk keperluan *flotasi*, udara yang diinjeksikan jumlahnya relatif sedikit ($\pm 0,2 \text{ m}^3$ udara) untuk setiap (m^3) air limbah. Semakin kecil ukuran gelembung udara maka proses *flotasi* akan semakin sempurna.

2. Koagulasi - Flokulasi

Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi dengan penambahan senyawa kimia yang dinamakan zat koagulan sehingga dapat membentuk flok – flok yang dapat diendapkan. Dalam kondisi stabil partikel koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik-menarik antar partikel lebih kecil daripada gaya tolak-menolak akibat dari muatan listrik. Dalam proses koagulasi yang terjadi secara destabilisasi membentuk partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi partikel yang lebih besar. Dengan demikian partikel koloid yang awalnya sukar dengan air, setelah proses koagulasi partikel koloid tersebut akan membentuk kumpulan partikel atau flok

yang lebih besar sehingga memudahkan pemisahan flok pada proses selanjutnya yaitu sedimentasi. Bahan kimia yang umumnya digunakan untuk proses koagulasi dibagi menjadi tiga golongan, yaitu zat koagulan, zat alkali, dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan merupakan bahan kimia yang digunakan untuk menggumpalkan partikel- partikel tersuspensi, zat warna, koloid, dan lain sebagainya agar membentuk flok atau gumpalan partikel yang lebih besar. Sedangkan zat alkali dan zat pembantu koagulan merupakan zat yang memiliki fungsi untuk membantu proses pembentukan flok agar dapat berjalan lebih cepat dan baik, selain itu juga fungsi zat alkali dan zat pembantu koagulan dapat mengatur kondisi pH dalam keadaan stabil pada air baku sehingga dapat

menunjang proses pada flokulasi (Said, 2019). Proses koagulasi ini merupakan proses dasar pengolahan air untuk menghilangkan partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi. Dalam proses tersebut terdapat pengadukan dalam pengolahan air limbah, diantaranya adalah pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Pengadukan cepat (flash

mixing) bertujuan untuk mempercepat penyebaran bahan kimia (koagulan) melalui air limbah. Koagulan yang paling efektif untuk digunakan dalam pengadukan cepat adalah alum dan *ferric chloride* karena proses hidrolisisnya berjalan lebih cepat yang selanjutnya akan mengalami adsorpsi partikel koloid. Sedangkan pada pengadukan lambat untuk proses kecepatan penyebaran koagulan lebih lama dibandingkan pada proses *flash mixing*. Koagulan yang umum digunakan dalam proses koagulasi adalah PAC, *aluminium sulfat*, *ferric sulfat*, dan *ferro sulfat* (Syaiful, Jn, & Andriawan, 2014). 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. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi adalah sebagai berikut (Rahimah, Heldawati, & Syaunqiah, 2016) :

a. Suhu air

Apabila suhu dalam air rendah maka akan berpengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi dan besarnya daerah pH optimum pada proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.

b. Derajat keasaman (pH)

Proses koagulasi dapat berjalan dengan baik apabila didukung dengan keadaan pH yang optimum

c. Jenis koagulan

Jenis koagulan yang digunakan dilihat dari segi ekonomi dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan yang efektif digunakan biasanya dalam bentuk koagulan larutan dibandingkan dengan koagulan dalam bentuk serbuk.

d. Kecepatan pengendapan

Dalam pengadukan hal yang terpenting adalah proses kecepatan dalam mencampur bahan kimia (koagulan) dengan air baku secara merata sehingga semua koagulan yang dibutuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel koloid. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan lambat maka yang terjadi flok terbentuk dengan lambat dan sebaliknya apabila terjadi pengadukan cepat maka flok dengan cepat akan terbentuk namun bisa berakibat flok akan pecah.

e. Kadar ion terlarut

Pengaruh ion yang terlarut terhadap proses koagulasi adalah adanya anion yang lebih besar daripada kation. Hal tersebut mengakibatkan ion

natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

f. Tingkat kekeruhan

Pengaruh kekeruhan dalam air limbah terjadi apabila tingkat kekeruhan rendah maka proses destabilisasi akan sukar terhadap air, begitupun sebaliknya tingkat kekeruhan tinggi akan mempengaruhi proses destabilisasi secara cepat.

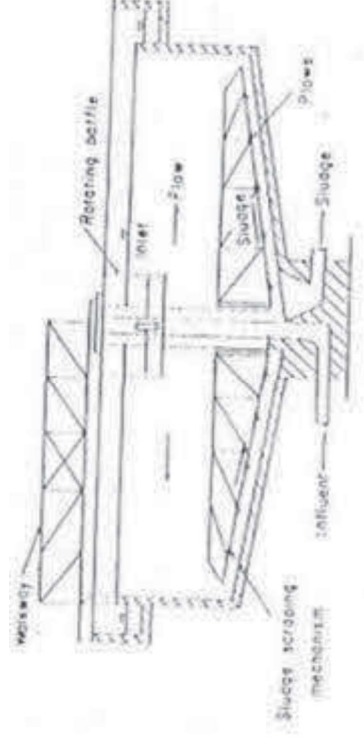
g. Dosis koagulan

Pembentukan flok terjadi karena faktor dari dosis koagulan yang dibutuhkan. Bila pembubuhan koagulan sesuai dengan kebutuhan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan flok akan berjalan dengan baik.

2.3.2.2 Sedimentasi Primer

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dari cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Proses ini sangat umum digunakan pada instalasi pengolahan air minum. Aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah:

1. Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat.
2. Pengendapan air yang telah melalui proses prasedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat.
3. Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan desinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa *dosing pump*, soda, NaCl, dan chlorine.
4. Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan.



Gambar 2.9 Bak Sedimentasi

Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah:

1. Pengendapan Tipe I (*Free Settling*).
2. Pengendapan Tipe II (*Flocculent Settling*).
3. Pengendapan Tipe III (*Zone/Hindered Settling*).
4. Pengendapan Tipe IV (*Compression Settling*).

Pada bangunan sedimentasi terdapat empat zona, dengan setiap zona terjadi proses sebagai berikut:

1. Zona inlet

Pada zona *inlet* terjadi distribusi aliran yang menuju zona *settling* ($\pm 25\%$ panjang bak).

2. Zona *settling*

Pada zona *settling* terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya.

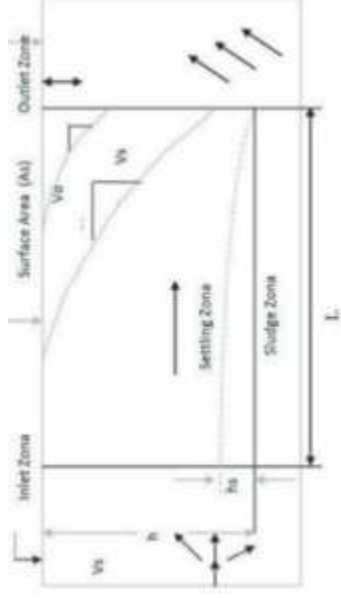
3. Zona *sludge*

Zona *sludge* merupakan 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

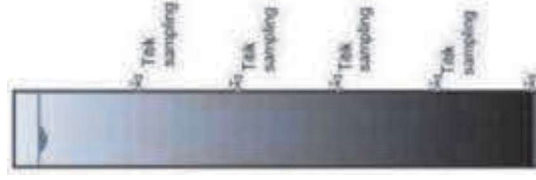
Zona *outlet* menghasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

Kecepatan pengendapan partikel tidak bisa ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besarnya partikel yang mengendap diuji dengan column setting 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.



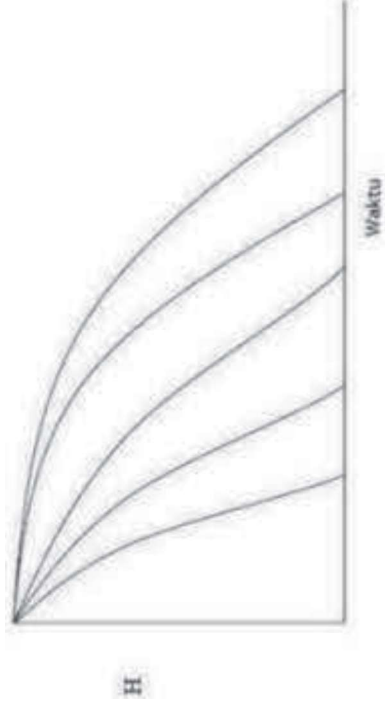
Gambar 2.10 Zona Pada Bak Sedimentasi

Sumber: (Al Layla, *Water Supply Engineering Design*)



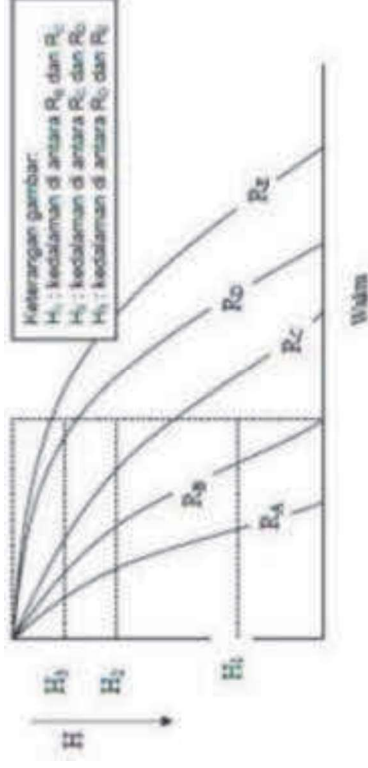
Gambar 2.11 Kolom Test Sedimentasi Tipe ii

Sumber: (Al Layla, *Water Supply Engineering Design*)



Gambar 2.12 Grafik Iso removal

Sumber: (Al Layla, Water Supply Engineering Design)



Gambar 2.13 Penentuan Kedalaman dan Seterusnya

Sumber: (Al Layla, Water Supply Engineering Design)

Grafik isoremoval dapat 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 . Grafik isoremoval juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan surface loading atau 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 di atas minimal dua kali)
2. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai 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 menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi (td) 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 (Reynold dan Richards, 1996). Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan:

1. *Horizontal - Flow Sedimentation*

Desain yang baik pada bangunan ini dapat mengurangi lebih dari 95% dari kekeruhan air. Bentuknya yang persegi panjang yang 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 bak sedimentasi bentuk rectangular (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok 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.

2. *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 (Sugiarto, 2007). 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 organik, 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 (2007), adanya waktu tinggal, penambahan bahan kimia, serta pengadukan sebelum unit sedimentasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan BOD sekitar 50-80% (Metcalf & Eddy et al., 2007).

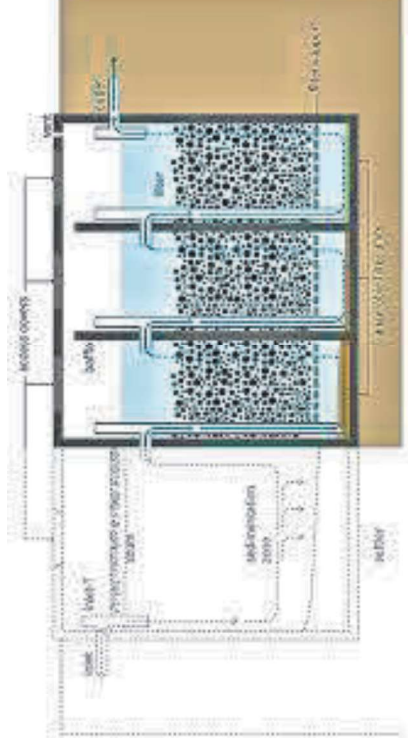
2.3.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

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

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobic dengan efisiensi reduksi BOD antara 60-90% serta 40- 90% TSS (Qasim & Zhu, 2017). Penghilangan partikulat dan BOD karbon terlarut dan stabilisasi materi organik yang ditemukan dalam air limbah dilakukan secara biologis dengan menggunakan berbagai macam mikroorganisme, terutama bakteri. Mikroorganisme digunakan untuk mengoksidasi atau mengubah materi organik terlarut dan partikel karbon menjadi produk akhir yang sederhana dan biomassa sebagai produk sampingan.

2.3.3.1 Biofilter Anaerob

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter tercelup dilakukan dengan mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya diisi dengan media penyangga untuk mengembangkan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Mekanisme proses metabolisme di dalam sistem biofilm secara aerobik yang menunjukkan sistem biofilm yang terdiri dari media penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan air limbah dan udara. Senyawa polutan yang ada dalam air limbah, seperti senyawa organik (BOD, COD), ammonia, fosfor, dan lainnya, akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan, dengan bantuan oksigen terlarut, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada pada lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplai oksigen pada lapisan biofilm pada sistem biofilter tercelup dapat dilakukan dengan menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi (Metcalf & Eddy, 2004).



Gambar 2.14 Biofilter Anaerob

Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik, sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Pada kondisi anaerob akan terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar, maka gas H_2S yang terbentuk akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada pada biofilm (Metcalf & Eddy, 2004).

Media filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraian. Sebuah media filter yang baik memiliki 90- 300 m² luas permukaan setiap m³ volume reaktor. Permukaan yang kasar memiliki luas area yang lebih besar, paling tidak pada fase awal. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Berdasarkan penelitian oleh Said (2005), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada tabel berikut (Said, 2005):

Tabel 2. 3 Perbedaan Luas Penampang Media Biofilter

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik ($\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$)
1.	Trickling filter dengan batu pecah	100 - 200
2.	Modul Honeycomb (sarang tawon)	150 - 240
3.	Tipe Jaring	50
4.	RBC	80 - 150

Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 292

2.3.3.2 Activated Sludge

Untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO₂ dan H₂O, sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi. Proses dalam activated sludge ini mampu mengubah hampir seluruh bahan organik terlarut dan koloid dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida dan air. Dan fraksi terbesar diubah menjadi massa cellular yang dapat dipisahkan dari aliran melalui pengendapan secara gravitasi. Agar effluen yang dikeluarkan berkualitas tinggi, maka biomassa harus dapat dipisahkan dari aliran melalui clarifier, dan setelah itu biomassa dikembalikan lagi ke tangki aerasi. Dalam unit activated sludge tidak hanya meremoval parameter limbah seperti BOD dan COD saja, melainkan dapat menurunkan konsentrasi pencemaran oleh logam kromium sebesar 85 – 90% dan fenol sebesar 95 – 99% (Merical, 2007).



Gambar 2.15 Activated Sludge

Sumber: (<https://www.moneratec.com/blog/activated-sludge-plant-design/>)

Proses activated sludge memiliki beberapa tipe dan modifikasinya, antara lain sebagai berikut:

1. Konvensional

Sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, clarifier, dan recycle sludge. Sistem flow yang digunakan adalah sistem plug-flow dengan recycle. Proses ini tidak mampu mengatasi shock loading dari buangan toksik atau buangan berkekuatan tinggi karena beban tidak didistribusikan ke sepanjang tangki aerasi, tetapi berkonsentrasi pada tempat masuknya air buangan.

2. *High Rate Aeration*

Merupakan modifikasi dari sistem konvensional dengan melakukan pengaturan sistem aerasi. Pada inlet tangki aerasi, kebutuhan oksigen sangat tinggi, sedangkan semakin mendekati outlet, kebutuhan oksigen makin menurun. Hal ini menyebabkan difuser diletakkan berdekatan dengan inlet untuk memenuhi nilai oksigenasi.

3. *Step Feed*

Modifikasi dari sistem konvensional, dimana influen air buangan dilakukan pada beberapa titik. Tujuannya untuk meratakan rasio F/M sehingga kebutuhan oksigen pada saat puncak dapat lebih rendah. Keuntungannya adalah distribusi oksigen lebih merata dan kebutuhan oksigennya tidak terlalu besar.

4. *Complex Mix Activated Sludge*

Merupakan sistem pengadukan lengkap oleh difusi atau aerasi mekanis di sepanjang tangki. Beban organik sama sepanjang tangki. Udara atau suplai

oksigen biasanya melalui diffuser aerator atau aerator permukaan. Keuntungan sistem ini adalah mampu menyuplai oksigen dan mampu mengaduk biomassa menjadi lebih homogen sehingga merata di seluruh reaktor.

5. *Extended Aeration*

Proses extended aeration membutuhkan tangki aerasi yang luas sehingga dapat terjadi pertumbuhan mikroorganisme yang tinggi. Biasanya digunakan untuk aliran air buangan yang kecil.

6. *Sequencing Batch Reactor*

Tipe reaktor sistem terdiri dari single reaktor complete-mix dimana pada setiap proses tahap pengolahan merupakan proses activated sludge. Untuk air limbah domestik dengan aliran kontinu, setidaknya 2 bagian, yaitu pengendapan lumpur dan resirkulasi lumpur.

7. *Oxidation Ditch*

Oxidation ditch terdiri dari bulatan chanel dengan aerasi mekanik dan pengadukan. Mekanikal aerator permukaan digunakan untuk pengadukan dan aerasi. Air limbah yang masuk ke dalam channel dikombinasikan dengan resirkulasi lumpur.

8. *Cycling Activated Sludge System*

CCAS menggunakan tiga zona baffle dengan proporsi volumetric perbandingan 1:2:20 dan pencampuran diresirkulasi dari zona 3 ke zona 1. Dalam proses CCAS, air limbah yang masuk kontinu ketika effluent teremoval dalam reaksi batch.

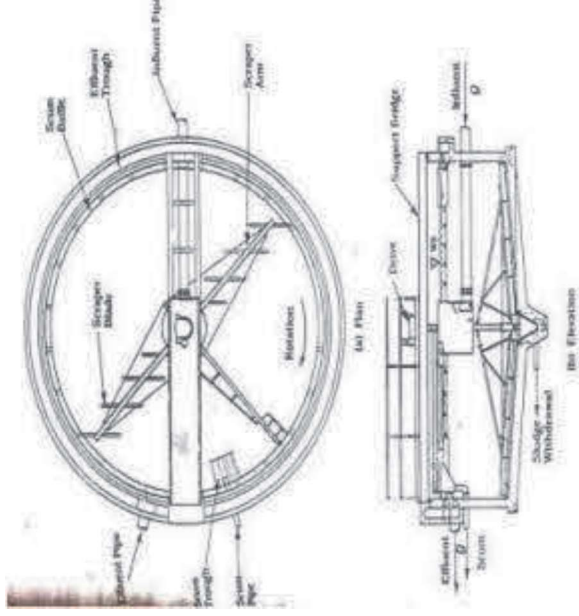
2.3.3.3 Clarifier

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah.

Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri patogen lainnya. Clarifier sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scraper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk penggerak lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing – masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi (Metcalf & Eddy, 2004). Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1 – 2 jam. Kedalaman clarifier rata – rata 10 – 15 feet (3 – 4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter) (Metcalf & Eddy, 2004).

Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang telah diolah dan ditampung di secondary clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll. Pada secondary clarifier ini tergantung pada kedalaman tangki, bedanya dengan preliminary clarifier yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun masalahnya pada secondary clarifier adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi (Metcalf & Eddy, 2004).



Gambar 2.16 Clarifier

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2004)

2.3.4 Pengolahan Tersier (*Tertiary/Advanced Treatment*)

Pengolahan tersier (*Tertiary/Advanced Treatment*) dilakukan jika setelah pengolahan primer dan sekunder masih terdapat zat tertentu dalam air limbah yang dapat berbahaya bagi lingkungan atau masyarakat. Pengolahan tersier bersifat khusus, artinya pengolahan ini disesuaikan dengan kandungan zat yang tersisa dalam limbah cair. Pengolahan ini ditujukan untuk menghilangkan bahan yang sifatnya spesifik untuk limbah tertentu. Unit pengolahan yang dipakai pada tahap ini bekerja secara fisika, kimia, dan biologi, misalnya ion exchange, desinfeksi (klorinasi), reverse osmosis, dan nitrifikasi.

2.3.5 Pengolahan Lumpur Sludge (*Sludge Treatment*)

2.3.5.1 Screw Press

Mesin Dewatering Screw Press (DSP) merupakan teknologi mesin yang dirancang untuk pengentalan dan pengeringan lumpur cair lebih efisien yang berasal dari proses pengolahan air limbah kota dan industri (IPAL). Aplikasi untuk instalasi pengolahan air limbah termasuk pengeringan lumpur aktif limbah (WS) yang kental atau tidak kental, lumpur yang dicerna dari proses Prasedimentasi dan Sedimentasi.

Sistem Screw Press terdiri dari tangki reaksi flokulasi, pencampuran polimer, sistem pencucian eksternal, dan panel kontrol. Drum dibuat dari baja tahan karat menggunakan wedge-wire screen profile khusus dengan permukaan besar untuk mendapatkan karakteristik drainase cairan yang optimal. Adapun manfaat yang dapat dihasilkan dari penggunaan mesin screw press untuk pengolahan lumpur:

1. Mesin screw press ini berkecepatan lambat dan bekerja pada tekanan yang relatif rendah sehingga biaya pengoperasian rendah karena konsumsi energi yang rendah.
2. Unit silinder yang tertutup dan kecepatan lari yang rendah dapat mengurangi kebisingan.
3. Pengoperasian dan perawatan yang mudah dengan operasi mekanis sederhana dan sistem kontrol otomatis yang dapat diprogram sesuai dengan kebutuhan pengguna dan memungkinkan untuk beroperasi selama 24 jam.
4. Biaya investasi rendah; pemerasan lumpur cocok untuk air kecil hingga menengah dan instalasi pengolahan air limbah dari lumpur biologis tanpa pengaturan pengental lumpur (Sludge Thickening).
5. Dengan bahan yang andal dan kuat, ini memastikan ketahanan korosi terhadap lumpur agresif, abrasi, dan ideal untuk mengeringkan lumpur berminyak.

Berikut rumus yang digunakan dalam menentukan unit screw press:

1. Menghitung volume sludge yang akan diolah

$$\text{Debit air} \times 10\% = \text{Debit slurry}$$

$$\text{Debit slurry} \times \text{TSS slurry} = \text{Total dry solid}$$

Total dry solid : Operasional Mesin

2. Penentuan kapasitas mesin
3. Menghitung kebutuhan polimer

Dosis: Standar Trchase 3 – 6 gr polymer/kg-DS (6 gr polymer/kgDS)

- Kebutuhan polymer Kebutuhan Polymer = Dosis x total sludge
- Pelarutan flokulant Konsentrasi pelarutan floklant = 1%

- Penentuan dosing pump
- Penentuan besar tangki pembubuh polimer

2.4 Persen Removal

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

Tabel 2. 4 Jenis Pengolahan Berdasarkan Parameter

No.	Parameter	Unit Pengolahan dan Persen Removal	Sumber Literatur
1.	BOD	Primary sedimentation = 25 - 40%	<i>Metcalf, L., & Eddy, H. P. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed., page 382). McGraw-Hill.</i>
		Biofilter Anaerob = 65-85%	<i>Said, N. I. (2005). Penggunaan Media Serat Plastik Pada Proses Biofilter Tercelup. Jai, 1(2), 143–156.</i>
		Activated sludge = 85-95%	<i>Sperling, M. (2007). Biological Wastewater and Treatment Series: Volume 5 Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors (page 13). Iwa Publishing.</i>
2.	COD	Biofilter Anaerobik = 60-80%	<i>SULASMI, S. (2009). EFEKTIVITAS PENGUNGUNAN PROSES BIOFILTER ANAEROB-AEROB TERHADAP LIMBAH CAIR RUMAH PEMOTONGAN AYAM (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).</i>
		Activated sludge = 85-90%	<i>Sperling, M. (2007). Biological Wastewater and Treatment Series: Volume 5 Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors (page 13). Iwa Publishing.</i>

3.	TSS	Primary Sedimentation = 50-70%	<i>Metcalf, L., & Eddy, H. P. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed., page 382). McGraw-Hill.</i>
		Dissolved Air Flotation (DAF) = 80%	<i>Cavaseno, V. (1987). Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering. Page 14</i>
		Activated sludge = 60 – 85%	<i>Cavaseno V (1976), Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering</i>
		Clarifier = 50-70 %	<i>Metcalf & Eddy (2003), hal 396</i>
4.	Minyak lemak	Grease trap = 80%	<i>Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), hal. 25</i>
		Dissolved Air Flotation (DAF) = 90-95%	<i>Maharani, V. S. (2017). Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri</i>
5.	Ammonia	Activated sludge = 85-95%	<i>Sperling, M. (2007). Biological Wastewater and Treatment Series: Volume 5 Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors (page 13). Iwa Publishing.</i>

Sumber: Tertera

2.5 Profil Hidrolis

Hal – hal yang perlu diperhatikan sebelum membuat Profil Hidrolis (Rochma & Ipung, 2015), antara lain :

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

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

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak

- c. Kehilangan tekanan pada pintu air
 - d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat dan lain – lain harus dihitung secara khusus
2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan
 - b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
 - c. Kehilangan tekanan pada pompa
3. Tinggi muka air

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

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

2.6 BOQ dan RAB

2.6.1 Bill of Quantity

BOQ (daftar kuantitas), adalah perincian seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah pekerjaan konstruksi. Yang terdiri dari pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, pekerjaan MEP (Mekanikal, Elektrikal dan Plumbing), pekerjaan utilitas, lanskap dan sebagainya. Karakteristik BOQ:

1. Dalam BOQ masing-masing item pekerjaan telah tercantum beserta volume,
2. Tidak menutup kemungkinan item dan volume pekerjaan tersebut dapat bertambah atau berkurang kemudian hari, yaitu pada saat klarifikasi dan negosiasi harga,
3. Dalam BOQ tidak tercantum harga satuan pekerjaan,
4. Menghitung volume BOQ berdasarkan gambar rencana,
5. Pihak yang menyusun BOQ adalah konsultan perencanaan.

Tujuan membuat BOQ adalah:

1. Sebagai perhitungan awal, untuk mengetahui jumlah biaya yang harus disiapkan oleh Owner untuk pelaksanaan proyek,
2. Untuk keperluan pelaksanaan proses tender (lelang) proyek,
3. Berguna sebagai acuan/dasar bagi peserta lelang (kontraktor) untuk mengajukan penawaran harga.

2.6.2 Rencana Anggaran Biaya

RAB adalah daftar harga atau perhitungan rincian biaya yang kita anggarkan untuk pelaksanaan sebuah proyek konstruksi. Mencakup keseluruhan biaya yang kita perlukan untuk pengadaan bahan, biaya alat maupun biaya/upah tenaga kerja. RAB dapat meliputi seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah proyek, atau hanya meliputi 1 sub pekerjaan saja. Misalnya RAB sub pekerjaan konstruksi baja, RAB sub pekerjaan instalasi listrik, dan seterusnya. Karakteristik RAB:

1. Dalam RAB telah tercantum seluruh item pekerjaan, volume serta harga satuan pekerjaan,
2. Item pekerjaan, volume dan harga satuan yang ada dalam RAB sifatnya mengikat. Artinya tidak dapat berubah (bertambah atau berkurang) kemudian hari,
3. RAB oleh masing-masing peserta lelang (kontraktor), sehingga volume dan harga satuan pekerjaan pasti berbeda.

Tujuan membuat RAB adalah:

1. Pada proyek berskala kecil yang tidak menggunakan jasa konsultan perencana, misalnya pembangunan rumah tinggal. Kontraktor selalu melakukan perhitungan RAB untuk diajukan kepada owner. Sementara kasus yang sedikit berbeda, jika kontraktor ingin ngesub salah satu pekerjaan dari maincont. Walaupun sebenarnya maincont memiliki BOQ, namun tak jarang kontraktor harus melakukan perhitungan RAB.
2. Ketika maincont menyatakan agar subcont melakukan perhitungan RAB, maka secara otomatis BOQ yang disusun oleh konsultan perencana tidak berlaku. Dengan kata lain BOQ tersebut menjadi rahasia oleh maincont, yang tidak perlu diketahui oleh subcont.