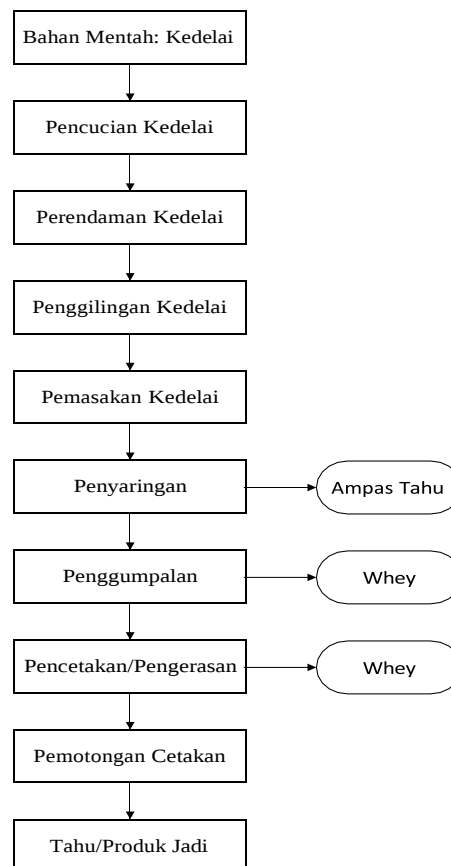


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Tahu

Menurut observasi lapangan yang dilakukan pada waktu magang, jumlah air limbah yang dihasilkan oleh industri tahu di kabupaten jombang berkisar antara 15-20 L/kg bahan baku kedelai, sedangkan beban pencemarannya kira-kira sebesar 30 kg *Total Suspended Solids* (TSS)/kg bahan baku kedelai, *Biological Oxygen Demand* (BOD) 65 gr/kg bahan baku kedelai dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) 130 gr/kg bahan baku kedelai. Skema pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut. Dari Gambar 2.1 kita mengetahui bahwa limbah tahu, baik limbah padat maupun cair, terbentuk pada proses pencucian kedelai, perendaman, penyaringan, penggumpalan, dan pencetakan/pengerasan.

Gambar 2.1 Skema Pembuatan Tahu



(Sumber: (Purwaningsih, n.d.) (2007))

2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Air limbah merupakan kombinasi dari cairan dan sampah-sampah buangan yang dihasilkan dari proses produksi suatu industri, domestik (rumah tangga), perdagangan, air tanah, air permukaan dan air buangan lainnya yang berdampak pada lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik (Metcalf & Eddy, I. An A. C., Asano, T., Burton, F., & Leverenz, 2007). Dalam Peraturan Pemerintah No.101 tahun 2014 limbah didefinisikan sebagai sisa atau buangan dari suatu usaha dan kegiatan manusia. Limbah berbeda dengan sampah, sampah cenderung banyak ditemui dari hasil buangan kegiatan manusia sehari-hari atau proses alam yang berbentuk padat. Sedangkan limbah berasal dari kegiatan manusia secara individu maupun kelompok, seperti pada kegiatan industri yang menghasilkan sisa buangan pada proses produksi (pengolahan bahan baku menjadi produk).

Berdasarkan Peraturan Gubernur Jatim No.72 Tahun 2013 dan PermenLH No.5 Tahun 2014, terdapat 5 (lima) parameter utama limbah industri tahu yang perlu diolah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, unsur N dan P, dan pH air limbah tahu. Kelimaparameter tersebut harus diolah sesuai dengan baku mutu menggunakan unit yang telah direncanakan. Adapun penjelasan terkait dengan keenam karakteristik limbah cair industri tahu sebagai berikut

2.2.1 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD⁵ adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga bisa dikenal sebagai BOD⁵ (Qasim, 1985).

Kandungan BOD pada air limbah Industri Tahu ini adalah 581,8 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD yang di perbolehkan di buang ke lingkungan adalah sebesar 300 mg/L.

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, I. An A. C., Asano, T., Burton, F., & Leverenz, 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. (PUPR, 2018). Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan PermenLH No.5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 300mg/L, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100mg/L.

2.2.3 pH

pH menyatakan intensitas kemasaman atau alkalinitas dari suatu cairan encer, dan mewakili konsentrasi hidrogen ionnya. pH merupakan parameter penting dalam analisis kualitas air karena pengaruhnya terhadap proses-proses biologis dan kimia di dalamnya. Air yang diperuntukkan sebagai air minum sebaiknya memiliki pH netral (+7) karena nilai pH berhubungan dengan efektifitas klorinasi. pH pada prinsipnya dapat mengontrol keseimbangan proporsi kandungan antara karbon dioksida, karbonat dan bikarbo (D, 2000).

Derajat keasaman (pH) air yang lebih kecil dari 6,5 atau pH asam meningkatkan korosifitas pada bendabenda logam, menimbulkan rasa tidak enak dan dapat menyebabkan beberapa bahan kimia menjadi racun yang mengganggu kesehatan (Sutrisno, 2006) pH pada air limbah Industri Tahu ini adalah 4,5, sedangkan baku mutu

yang mengatur besar kandungan COD yang di perbolehkan di buang ke lingkungan adalah rentang pH 6 - 9.

2.2.4 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sukar mengendap, melayang-layang, dan tidak larut di dalam air. Padatan TSS memiliki sifat sukar mengendap akibat muatan elektrostatis dan gerak brown sehingga stabil di dalam air. 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 100mg/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 (Said, 2017).

2.2.5 Amonia (NH₃)

Amonia (NH₃) adalah senyawa nitrogen yang pada pH rendah akan menjadi NH₄⁺ (amonium). Amonia berasal dari tinja, air seni, serta penguraian zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air buangan industri, air limbah domestik, ataupun air alam. Adanya senyawa amoniak dalam air dapat mengurangi efektivitas klorin. Klorin biasanya digunakan untuk pengolahan air dalam tahap air untuk menghilangkan zat organik yang tersisa dan untuk proses desinfeksi. Amonia dapat membentuk khloramin jika bereaksi dengan asam hipoklorid yang mana kurang efektif sebagai desinfektan sehingga amoniak dapat dikatakan memakai “kebutuhan klorin” pada proses khlorinasi.

Senyawa amoniak dalam air limbah dapat diolah menggunakan mikrobiologis dengan metode aerasi melalui proses nitrifikasi (Said, N. I., & Sya'bani, 2014).

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri tahu ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, dan pH air limbah. Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok/tingkatan pengolahan diantaranya adalah:

- A. Pengolahan Pendahuluan (PreTreatment)
- B. Pengolahan Primer (Primary Treatment)
- C. Pengolahan Sekunder (Secondary Treatment)
- D. Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

2.3.1. Pengolahan Pendahuluan (Pre-Treatment)

Pengolahan pre-treatment merupakan proses pengolahan awal secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar atau sedang dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Adapun tujuan pengolahan ini menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu pre-treatment juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari pabrik menuju instalasi pengolahan air limbah. Unit proses pengolahan untuk pre-treatment untuk kawasan industri meliputi:

2.3.1.1 Saluran Pembawa

Saluran Pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah (Hermana, J., Pemukiman, D., & Wilayah, n.d.). Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (*slope*) (Nasoetion, P., S, D. A. W.,

Saputra, M., & Ergantara, 2017).

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.

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

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 2,4m/s
- Kemiringan (slope) maksimal = 1,10 – 3m/m
- Freeboard saluran = 5-30%
- Dimensi saluran direncanakan (Ws) = $B = 2H$
- Kekasaran saluran (n) = 0,011 – 0,020 (saluran terbuka bahan beton)

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Table 4.2 Harga Koefisien Manning)

Tabel 2.1 Koefisien Maning n Untuk Saluran Pembawa

Bahan Batas	n Manning
Kayu yang diketam (diserut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,025
Tanah	0,025
Tanah dengan batu/rerumputan	0,035
Kerikil	0,029

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

Tabel 2.2 Tipe – Tipe Saluran Pembawa

Tipe	Gambar	Keuntungan & Permasalahan	Kekhasan Strukturnya
Saluran Terbuka		<u>Keuntungan :</u> 1. Relatif Murah 2. Mudah dalam konstruksinya <u>Permasalahan:</u> 1. Kemungkinan aliran sedimen dari lereng diatasnya 2. Tingginya tingkat jatuh daun – daunan	Saluran tanah sederhana, Jalur saluran (jalur pasangan batu basah atau kering, jalur beton), pagar saluran (terbuat dari kayu, beton, atau tembaga), jalur saluran berbentuk lembaran, saluran berbentuk setengah tabung (seperti pipa – pipa yang berbelok – belok, dll)
Pipa Tertutup/ Saluran Tertutup		<u>Keuntungan:</u> 1. Pada umumnya volume pekerjaan tanahnya besar 2. Rendahnya rata – rata sedimen dan daun – daunan yang jatuh di saluran <u>Permasalahan:</u> 1. Sulitnya merawat dan meninjau saluran, termasuk pembersihan dan perbaikannya	Tabungnya yang dipendam (hume, PVC, atau FRPM), Box culvert, Pagar saluran dengan tutupnya

Sumber: Slideshare

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{0,04 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,5 \text{ m}/\text{detik}}$$

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/detik)

V = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/detik)

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 5)

- Kedalaman Saluran (H)

$$(H) = \frac{A \text{ (m}^2\text{)}}{B \text{ (m)}}$$

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Ketinggian Total

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

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m),

freeboard = 20% dari ketinggian total.

- Cek Kecepatan (Rumus Manning)

$$\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan:

n = Koefisien manning

R = Jari-jari hidraulik

S = Slope (Kemiringan dasar saluran)

- Cek waktu tinggal maksimum saluran pembawa (Td)

$$\frac{Q_{\text{Saluran Total}}}{Q}$$

Keterangan:

Q = debit

Td = waktu detensi

- Jari-jari Hidrolis

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

- Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = lebar saluran pembawa (m)

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 19)

- Slope Saluran (rumus manning)

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

Keterangan :

S = slope/kemiringan saluran (m)

Q = debit air limbah

n = koefisien manning saluran (m/m)

R = jari – jari hidrolis (m)

A = luas permukaan saluran

- Headloss Saluran Pembawa

$$H_f = \text{Slope} \times L \text{ Saluran}$$

Keterangan:

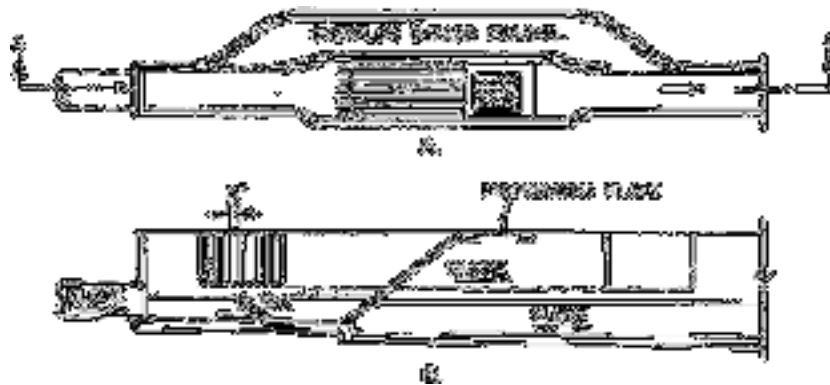
Hf = headloss saluran (m)

L = panjang saluran (m)

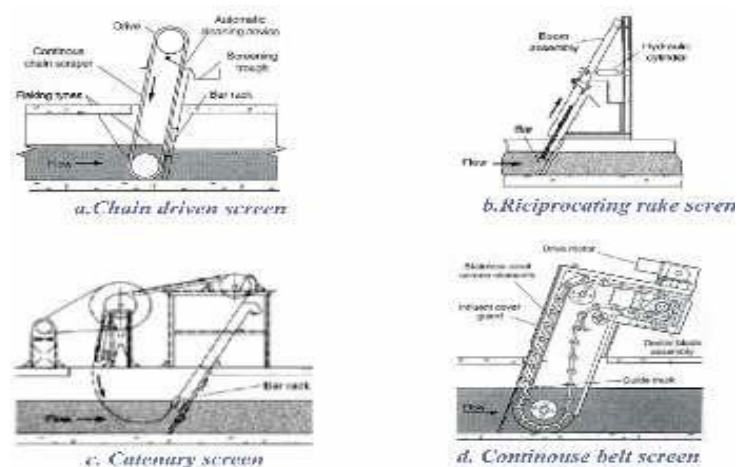
2.3.1.2 Unit Screening

Screening atau biasa disebut dengan *bar screen* digunakan dalam pengolahan air baik air bersih maupun air limbah untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran >0,5-1,0cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy, I. An A. C., Asano, T., Burton, F., & Leverenz, 2007). Padatan yang disaring kemudian dibuang ke wadah yang terletak di belakang *screen* untuk disimpan, dikeringkan, dan diakumulasi/dipadatkan sebelum akhirnya dibuang. Peran utama *screening* adalah

untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu: (1) merusak peralatan unit pengolahan berikutnya; (2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan (3) mencemari saluran air. Adapun jenis dari *bar screen* adalah *fine screen* (saringan halus) dan *coarse screen* (saringan kasar). Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis *bar screen* yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds, T. D., & Richards, 1996).



Gambar 2.2 Bar Screen dengan pembersihan manual



Gambar 2.3 Bar Screen dengan pembersihan mekanik

(Syed R. Qasim, WWTP, Planning, Design and Operation 1999)

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

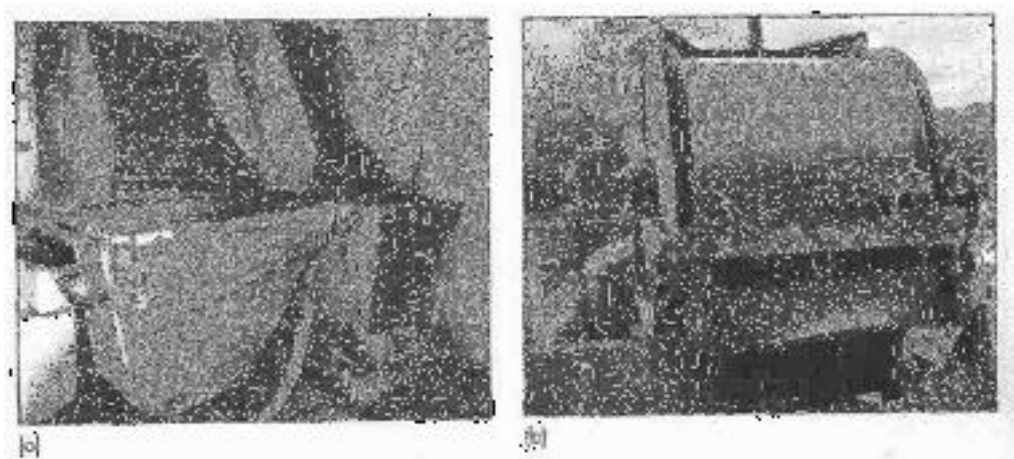
Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	U.S. Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran batang				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	25 – 38
Jarak antar batang	1,0 – 2,0	0,6 – 0,3	25 – 50	15 – 75
Parameter Lain				
Kemiringan thd vertikal (derajat°)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30
Kecepatan	1,0-2,0 ft/s	2,0-3,25ft/s	0,3-0,6m/s	0,6-1,0m/s
Headloss (max)	6 in	5-24in	150mm	150-600mm

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

- Fine Screen (Penyaring Halus)

Penyaring halus (Fine Screen) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan bar screen) dan pada pengolahan primer 7 (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dan Biological Oxygen Demand (BOD) pada air buangan). Fine Screen juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses trickling filter. Adapun ukuran padatan yang dapat disisihkan dalam proses penyaring halus (Fine Screen) adalah padatan yang berukuran kurang dari 6 mm (Eddy., 2003). Penyaring halus (Fine Screen) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (Premilinary Treatment) adalah seperti ayakan kawat (static wedgewire), drum putar (rotary drum), atau seperti anak tangga (step type). Penyaring halus (Fine Screen) pada umumnya memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2-6 mm. Adapun kriteria perencanaan penyaring halus (Fine Screen) di antaranya sebagai berikut:



Gambar 2.4 Tipe Fine Screen; (a) Static Wedgewire; (b) Drum

(MetcalfAnd Eddy 4th edition, 2004)

Tabel 2.4 Kriteria Perencanaan Penyarigan Halus (Fine Screen)

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

Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 322-323

Adapun kemampuan penyisihan dari masing-masing Fine Screen akan dijelaskan pada tabel berikut:

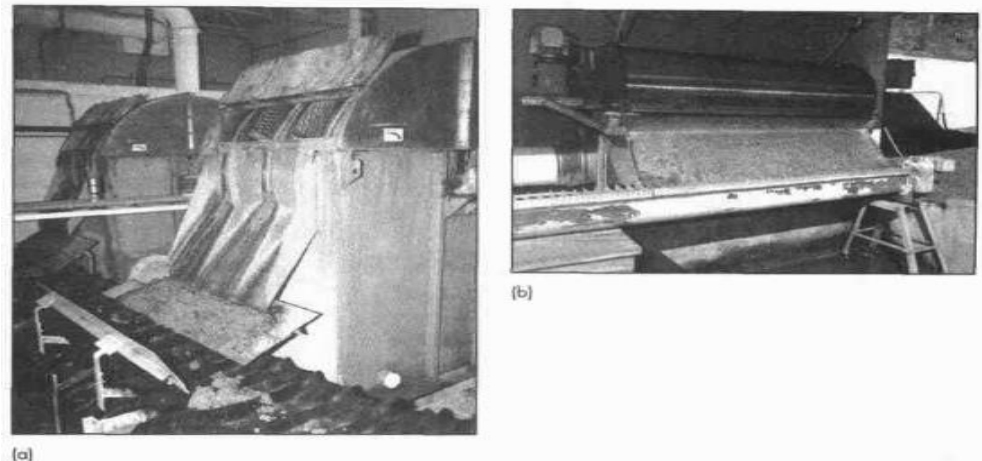
Tabel 2.5 Kemampuan Penyisihan Fine Screen

Jenis screen	Luas permukaan		Persen removal	
	In	Mm	BOD (%)	TSS(%)
<i>Fixed parabolic</i>	0.0625	1.6	5 – 20	5 – 30
<i>Rotary drum</i>	0.01	0.25	25 – 50	25 – 45

Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 322-323

- Microscreen

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat atau material yang mengapung, alga, yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Prinsip yang digunakan pada segala jenis screen ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran harus lebih dari 0,3 m/detik sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20 - 40 mm dan bentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (Metcalf & Eddy, 2004). *Microscreen* terbagi menjadi beberapa jenis, antara lain *disk type with stainless-steel fabric* dan *drum type with wedgewire screen* yang dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Tipe Microscreen; (a) Disk Type With Stainless-Steel Fabric; (b) Drum Type With Wedgewire Screen

Metcalf And Eddy 4th edition, 2004)

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

- Tinggi *bar screen*

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

Keterangan:

H = tinggi

Fb = freeboard

- Jumlah Batang Kisi (n)

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

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar (m)

d = lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan screen (wc)

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

Keterangan:

wc = lebar bukaan screen

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi (y)

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

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (P)

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

Keterangan:

α = kemiringan kisi

y = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (x)

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

Keterangan:

α = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

- Kecepatan Melalui Kisi (V_i)

$$V_i = \frac{Q}{WC \times H}$$

Q = debit inlet air limbah

wc = lebar bukaan screen

H = tinggi muka air

- Headloss pada Bar Screen

- Saat non-clogging

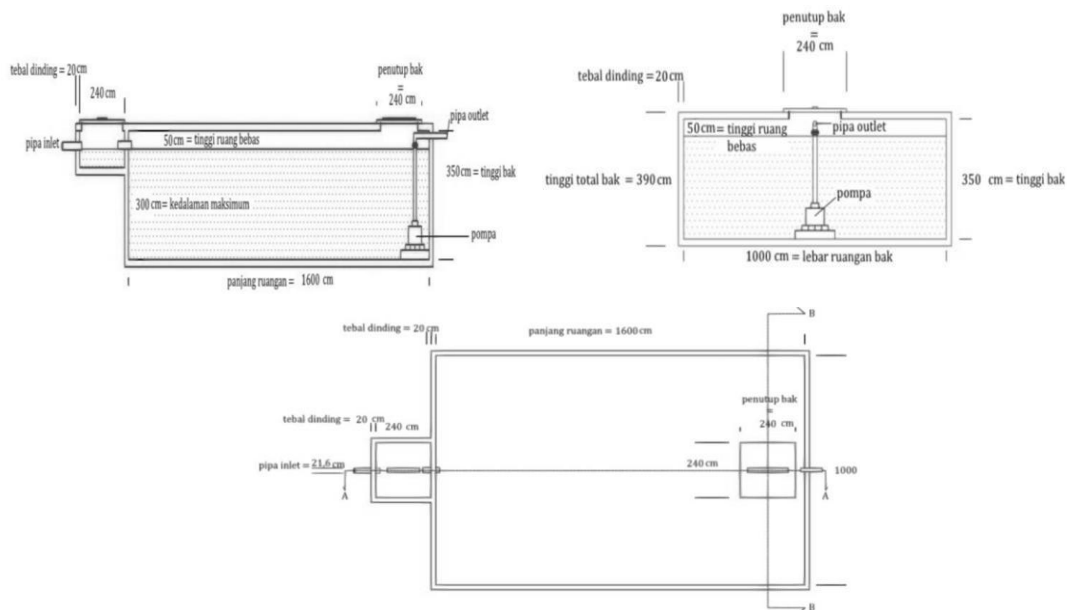
$$H_f = \frac{1}{cc} \times \left(\frac{v_i^2 \times v^2}{2 \times g} \right), \text{ C merupakan koefisien pada saat tidak clogging yaitu } 0,7$$

- Saat clogging

$$H_f = \frac{1}{cc} \times \left(\frac{v_i^2 \times v^2}{2 \times g} \right), C \text{ merupakan koefisien pada saat tidak clogging yaitu } 0,6$$

2.3.1.3 Unit Bak Penampung

Bak pengumpul adalah sebuah bak yang digunakan saat ukuran *screen* melebihi ukuran saluran. Bak pengumpul digunakan sebagai penampungan air limbah dari saluran pembawa, kemudian bak pengumpul ini juga digunakan untuk mengalirkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya



Gambar 2.6 Unit Bak Penampung dan Gambar Penampung

(Sumber: Effendi, 2003)

Penggunaan bak penampung pada *pretreatment* ditujukan untuk, antara lain :

- Menampung air limbah dari saluran pembawa yang kedalamannya di bawah permukaan instalasi pengolahan air limbah sebelum air di pompa ke atas.
- Menstabilkan variasi debit dan konsentrasi air limbah yang akan masuk ke bangunan pengolahan air limbah (unit instalasi induk air limbah), sehingga tidak terjadi *shock loading* saat pengolahan agar kinerja instalasi dapat mencapai nilai optimum.
- Menghilangkan kinerja saat keadaan *down stream* (aliran air limbah kecil). Air limbah yang dikumpulkan dalam sumur pengumpul dipompa menuju bangunan pengolah air limbah selanjutnya. Waktu tinggal air limbah di dalam sumur pengumpul tidak boleh terlalu lama (≤ 10 menit) sehingga air tidak menjadi

septic yang dapat mengakibatkan bau yang tidak sedap karena terjadi proses anaerobik. Jadi, prinsip yang digunakan adalah menghitung dimensi sumur pengumpul berdasarkan waktu detensi maksimal (≤ 10 menit) bagi air limbah (Eddy, 2004).

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit bak penampung antara lain sebagai berikut (PUPR, 2018):

Tabel 2.6 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

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

Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018, Halaman 32

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

- Waktu Tinggal (T_d)

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

Keterangan:

V = volume bak pengumpul (m^3)

Q = debit air limbah yang dipompa ($m^3/detik$)

- Kecepatan Aliran

$$A \times H$$

Keterangan:

A = luas permukaan bak pengumpul (m^2)

H = kedalaman air (m)

- Dimensi Bak

Penampung

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

Keterangan:

V = volume bak (m³)

P = panjang bak (m), dengan 2 x L

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak pengumpul (m)

- Kedalaman total (HTotal)

$$H_{Total} = H + (fb \times H) + H \text{ ruang lumpur}$$

Keterangan:

Fb = freeboard

- Jari-jari hidrolis

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

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

- Pipa inlet pompa

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

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

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

d = diameter pipa

V = volume bak

- Pipa outlet pompa

- Luas penampang pipa pompa

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

Keterangan:

A = luas bak

d = diameter pipa

➤ Kecepatan aliran dalam pipa pompa

outlet

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

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

Adapun untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurangi adanya *shock loading rate*. Adapun karakteristik pompa yang digunakan diantaranya:

Tabel 2.7 Karakteristik Pompa Bangunan Pengolahan Air

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	• Air limbah sebelum diolah • Penggunaan lumpur kedua • Pembuangan effluent
	Peripheral	Limbah logam, pasir, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan air buangan
<i>Posite Displacement</i>	Screw	• Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua • Air limbah pertama • Lumpur Kasar
	Diafragma Penghisap	• Permasalahan zat kimia limbah logam • Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	Air Lift	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
	Pneumatic Ejector	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

2.3.2. Primary Treatment

Proses pengolahan ini adalah proses utamanya adalah untuk menghilangkan zat padat tercampur dalam limbah serta menyeimbangkan kadar pH dalam air limbah. Pada tahap ini terjadi proses secara fisika dan kimia. Pada tahap ini ada beberapa tahap pengolahan yaitu:

2.3.2.1 Unit Netralisasi pH air limbah

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda di antara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas bufer yang terjadi karena ada produk CO₂ dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam. Terdapat beberapa cara menetralkan kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti (Reynolds, T. D., & Richards, 1996):

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

Berikut merupakan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam unit netralisasi

a. Bak Pembubuh

- Dosis NaOH

$$\text{Dosis} = \frac{\text{massa (gram)}}{\text{volume air (liter)}} \times \frac{1}{BM} \times \text{valensi}$$

- Kebutuhan NaOH

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

- Kebutuhan air pelarut

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

- Volume total

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

Keterangan:

Q = debit air

T_d = waktu detensi

- Dimensi tangki

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

Keterangan:

d = diameter tangki

h = tinggi tangk

- Suplai tenaga ke air

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Diameter impeler

$$D_i = \left(\frac{P}{K T \cdot n^3 \cdot \rho} \right)^{1/5}$$

- Lebar impeller

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

Keterangan:

D_i = diameter impeller

- Cek bilangan Reynold (N_{Re})

$$N_{Re} = \frac{(D_i)^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

b. Bak Netralisasi

- Volume tangki netralisasi

$$V. \text{ Tangki} = Q \times T_d$$

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{limbah}} + V_{\text{pembubuh}}$$

- Dimensi tangki netralisasi

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

- Suplai tenaga ke air

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Cek Di

$$DT = \frac{D_i}{D}$$

- Keterangan:

D_i = diameter impeller

D = diameter tangki

- Menghitung ukuran baffle pada tangki

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

- Cek nilai bilangan Reynold (N_{Re})

Keterangan:

D_i = diameter impeller

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

- Luas penampang pipa

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

Keterangan:

Q = debit air

V = volume tangki

- Diameter pipa outlet

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

- Cek kecepatan pipa outlet

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

c. Dosing Pump

Debit dosing pump (Q) = Debit pembubuh

Debit pembubuhan = Qpembubuhan

2.3.3. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

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

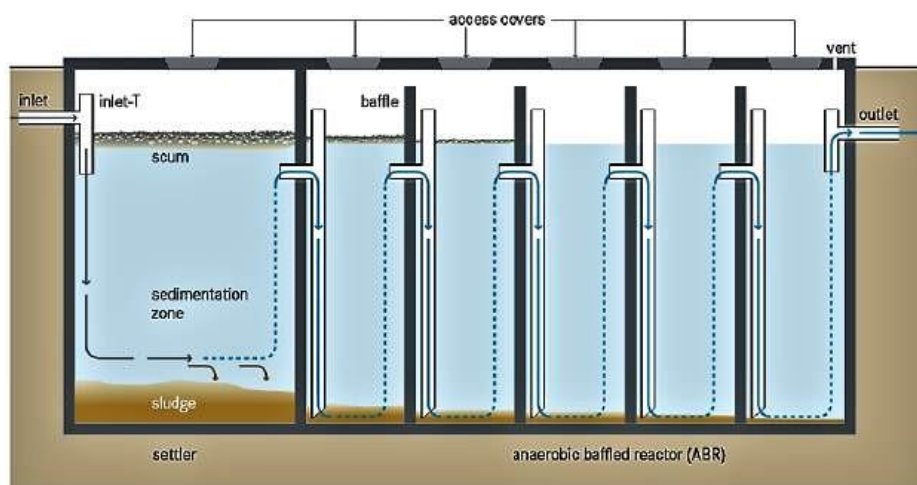
2.3.3.1 Anaerobic Baffle Reactor

Anaerobic Baffle Reactor (ABR) merupakan unit pengolahan biologis dengan metode pengolahan suspended growth yang memodifikasi tangki septik dengan menambahkan sekat-sekat (baffle). Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk (melalui aliran upflow dan downflow) untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganisme. ABR menggabungkan proses sedimentasi dan penguraian material organik oleh mikroorganisme dalam satu sistem, di mana proses sedimentasi terjadi pada kompartemen pertama dan proses penguraian material organik pada beberapa kompartemen selanjutnya (*Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik.*, 2017).

Ruang upflow memberikan peningkatan pembuangan dan pengolahan bahan organik. BOD dapat dikurangi hingga 90%, yang jauh lebih baik daripada pada

septic tank konvensional. Pada unit ini, aliran masuk tipikal berkisar antara 2 hingga 200 m³ per hari. Parameter desain meliputi waktu retensi hidraulik (HRT) antara 48 hingga 72 jam, kecepatan aliran ke atas air limbah di bawah 0,6 m/jam dan jumlah ruang aliran ke atas (3 hingga 6). Sambungan antara ruang dapat dirancang baik dengan pipa vertikal atau baffle. Biasanya, biogas yang dihasilkan dalam ABR melalui pengolahan anaerobik tidak dikumpulkan karena jumlahnya tidak mencukupi. Tangki harus berventilasi untuk memungkinkan pelepasan dari bau dan gas secara terkontrol yang berpotensi bahaya. Teknologi ini cocok untuk area di mana lahan mungkin terbatas karena tangki paling sering dipasang di bawah tanah dan membutuhkan lahan yang kecil (Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Luthi, Philippe Reymond, 2014).

Mikroorganisme berkembang dalam lapisan lumpur yang terakumulasi di dasar kompartemen. Unit ABR mampu menyisihkan 65–90% COD; 70–95% BOD; dan 80–90% TSS. Efisiensi penyisihan bakteri patogen pada unit ini rendah sehingga membutuhkan pengolahan lebih lanjut (PUPR, 2018). Adapun contoh gambar ABR dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Unit Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

(Sumber : <https://sswm.info/taxonomy/term/3931/anaerobic-baffled-reactor-%28abr%29>)

Adapun kriteria desain unit ABR adalah sebagai berikut.

Tabel 2.8 Kriteria Desain Anaerobic Baffled Reactor

Parameter	Satuan	Nilai
Debit desain	m ³ /hari	2-200
Waktu retensi hidraulik	Jam	12-96
Kecepatan upflow	m/jam	<0,6
Jumlah kompartemen	Buah	3-6

Parameter	Satuan	Nilai
Efisiensi penyisihan		
BOD	%	70-95
COD	%	65-90

(Sumber: Tilley, et al, 2014)

Anaerobic baffled reactor terdiri dari zona pengendap dan zona sekat (*baffled area*). Untuk menghitung dimensi zona pengendapan, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$V \text{ Zona Pengendap} = Q \times HRT$$

$$H \text{ Zona Pengendap} = \frac{V}{A}$$

$$\text{Surface Loading} = \frac{Q}{A}$$

Keterangan

Q = debit influent (m^3/jam)

HRT = waktu retensi hidraulik (jam)

V = Volume (m^3)

A = Luas permukaan (m^2)

Surface loading = beban permukaan = $\frac{m^2}{m^4} / \text{hari}$

Adapun untuk menghitung zona sekat dalam *anaerobic baffled reactor* dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$V \text{ ABR} = Q \times HRT$$

$$\text{Luas Permukaan (A surface) upflow} = \frac{Q}{v_{up}}$$

$$\text{Panjang kompartemen downflow (L down)} = \frac{\text{Luas permukaan downflow}}{\text{lebar kompartemen downflow}}$$

$$\text{Total kompartemen} = \frac{\text{volume ABR}}{\text{Volume total kompartemen}}$$

Total volume aktif baffled area = panjang kompartemen upflow + downflow x lebar kompartemen x kedalam efektif x jumlah kompartemen

$$\text{OLR COD} = \frac{\text{Organic load}}{\text{Total Volume aktif baffled area}}$$

Keterangan:

Q = debit influent (m^3/jam)

HRT = waktu retensi hidraulik (jam)

V_{up} = kecepatan upflow (m^3)

A = luas permukaan (m^2)

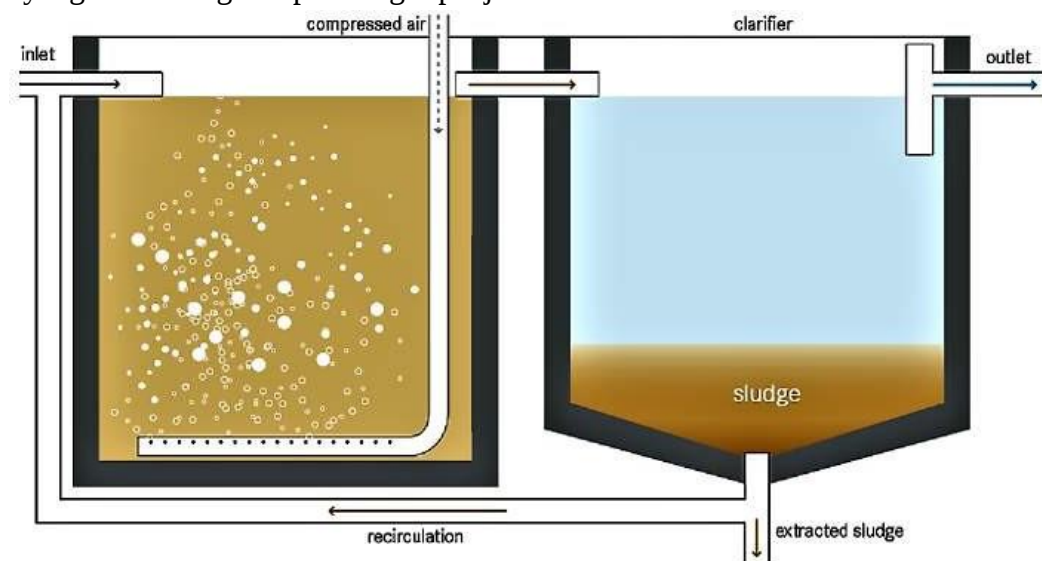
OLR COD = Organic Loading Rate COD (0,1-8 kg COD/ m^3 .hari)

Organic load = beban organik (kg/hari) (2.40)

Surface loading = beban permukaan = $\frac{m^2}{m^4} / hari$

2.3.3.2 Activated Sludge

Lumpur aktif (activated sludge) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi yang pertama kali dilakukan di Inggris pada awal abad 19. Sejak itu proses ini diadopsi seluruh dunia sebagai pengolah air limbah domestik sekunder secara biologi. Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO_2 dan H_2O , NH_4 , dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa blower (diffused) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.



Gambar 2.8 Unit Activated Sludge

(Sumber : <https://sswm.info/es/taxonomy/term/3808/activated-sludge>)

Pengolahan air limbah pada umumnya dilakukan dengan menggunakan metode biologi. Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah metode yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Mikroorganisme sendiri selain menguraikan dan

menghilangkan kandungan material, juga menjadikan material yang terurai tadi sebagai tempat berkembang biaknya.

Metode pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*) adalah merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut. Dengan menerapkan sistem ini didapatkan air bersih yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Diharapkan pemanfaatan sistem daur ulang air limbah akan dapat mengatasi permasalahan persediaan cadangan air tanah demi kelangsungan kegiatan industri dan kebutuhan masyarakat akan air. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Air daur ulang yang kami kerjakan dapat dimanfaatkan dengan aman untuk kebutuhan konsumsi air seperti cooling tower, boiler laundry, toilet flusher, penyiraman tanaman, general cleaning, fish pond car wash dan kebutuhan air yang lainnya.

Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit *activated sludge* yaitu untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO₂ dan H₂O, sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi.

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.

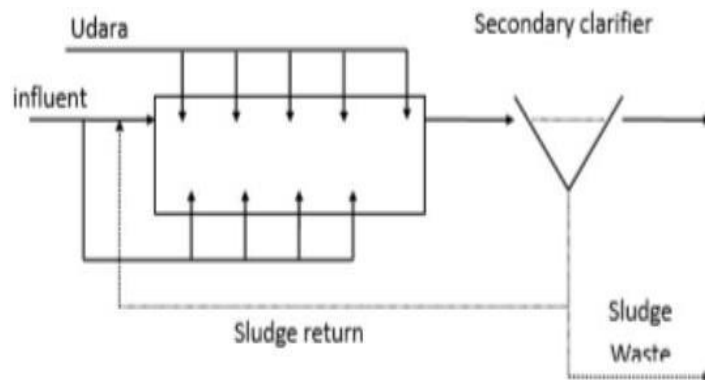
2. *High-Rate Aeration*

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.



Gambar 2.9 Activated Sludge Step Aeration

(Sumber : Reynold, 441)

4. *Complete Mix Activated Sludge (CMAS)*

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 (SBR)*

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 chanel dikombinasikan dengan resirkulasi lumpur.

8. *Cyclic Activated-Sludge System (CCAS)*

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.

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bangunan ini.

Tabel 2.9 Kriteria Perencanaan Activated Sludge

i	Umur Lumpur (θ_c)	=	5-15 hari
ii.	Rasio F/M	=	0,2-0,4 kg BOD/kg MLSS.hari
iii.	Volumetric Loading	=	0,6-1 kg BOD/m ³ /hari
iv.	MLSS (X)	=	2000-3500 mg/L
(Sumber: (Metcalf & Eddy, 1979) Metcalf, & Eddy. (1979). Reuse, Wastewater Engineering: Treatment Disposal. McGraw-Hill. Halaman 484 – 485)			
v.	Waktu Detensi (HRT)	=	3-5 jam
vi.	Rasio Resirkulasi (R)	=	0,25-0,75
vii.	Nilai Koefisien:		
	- Rata-Rata Penggunaan Substrat (k)	=	2-10/hari
	- Konsentrasi Substrat (Ks)	=	25-100 mg/L.BOD
	- Koefisien Endogeneous (Ke)	=	0,025-0,7075/hari
	- Yield Coefficient (Y)	=	0,4-0,8 mgMLVSS/mg BOD
	- Suhu correction Coefficient (θ)	=	1,03-1,09
viii	Kedalaman Bak (H)	=	3-4,5 m
ix.	MLVSS (Xv)	=	60%-75% MLSS

(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 450 – 459)			
x.	Suhu air buangan 26 °C, sehingga:		
	- Kinematic Viscosity (ν)	=	$8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
	- Absolute Viscosity (μ)	=	$8,746 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
	- Massa Jenis (ρ)	=	$0,99681 \text{ g/cm}^3$
		=	$996,81 \text{ kg/m}^3$
(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762)			
xi.	Freeboard (Fb)	=	10%-20%
xii.	Safety Factor	=	2
xiii.	Return Sludge Ratio	=	0,7-1,2
xiv.	SS in Return Sludge	=	8000-12000 mg/L
(Sumber: (Von Sperling, 2007) Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. In Water Intelligence Online (Vol. 6, Issue 0). Halaman 36)			

b. Data Perencanaan

Koefisien Kinetik pada Suhu 26°C

- Koefisien Endogenous (K_e)

$$K_e = K_{e20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan:

K_e = Koefisien Endogenous (/hari)

θ = Suhu correction Coefficient (°)

- Koefisien Yield (Y)

$$Y = Y_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan:

Y = Koefisien Yield (mg MLVSS/mg BOD)

θ = Suhu correction Coefficient (°)

- Rata-Rata Penggunaan Substrat (K)

$$K = K_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan:

K = Rata Rata Penggunaan Substrat (/hari)

θ = Suhu correction Coefficient ($^{\circ}$)

➤ Konsentrasi Substrat (K_s)

$$K_s = K_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan:

K_s = Konsentrasi Substrat (mg/L.BOD)

θ = Suhu correction Coefficient ($^{\circ}$)

B. BOD teRemoval

C. Kadar MLVSS

D. Sludge Volume Index (SVI)

Direncanakan dari hasil analisa laboratorium diperoleh konsentrasi 2500mg/L MLSS dengan volume lumpur yang mengendap selama 30 menit dalam 1liter sampel = 250 mL, maka:

(Sumber: (Sumber: (Metcalf & Eddy, 1979) Metcalf, & Eddy. (1979). Reuse, Wastewater Engineering: Treatment Disposal. McGraw-Hill. Halaman 685)

$$SVI = \frac{V}{MLSS}$$

Keterangan:

SVI = Sludge Volume Index (mL/gr)

V = volume (m^3)

E. Debit Resirkulasi

$$Q_r = R \times Q$$

Keterangan:

Q_a = Debit Bak Total (m^3/s)

Q = debit air limbah (m^3/s)

Q_r = debit resirkulasi (m^3/s)

F. Debit Bak/Debit Total

$$Q_a = Q + Q_r$$

Keterangan:

Q_a = Debit Bak Total (m^3/s)

Q = debit air limbah (m^3/s)

Q_r = debit resirkulasi (m^3/s)

G. Konsentrasi BOD pada Activated Sludge

$$C_a = \frac{(BOD\ influent \times Q) + (BOD\ Effluent \times Q_r)}{Q_a}$$

Keterangan:

C_a = Konsentarsi BOD pada Activated Sludge

Q_a = Debit Bak Total (m^3/s)

Q = debit air limbah (m^3/s)

Q_r = debit resirkulasi (m^3/s)

H. Volume Bak (V)

$$V = \frac{Y \times \theta_c \times Q_a \times (C_a - BOD\ effluent)}{X \times (1 + (K_e \times \theta_c))}$$

Keterangan:

V = Volume Bak (m^3)

Y = Yield Coefficient

θ = Suhu correction Coefficient ($^{\circ}$)

C_a = Konsentarsi BOD pada Activated Sludge

Q_a = Debit Bak Total (m^3/s)

X = MLS

K_e = Koefisien Endogenous (/hari)

I. Lumpur yang Dihasilkan (γ_{obs})

$$\gamma_{obs} = \frac{Y}{1 + K_e + \theta_c}$$

Keterangan:

γ_{obs} = Lumpur yang Dihasilkan

K_e = Koefisien Endogenous (/hari)

Y = Yield Coefficient

θ = Suhu correction Coefficient ($^{\circ}$)

J. Produksi Lumpur (P_x)

$$P_x = \gamma_{obs} \times Q_a \times (C_a - BOD\ Effluent)$$

Keterangan:

P_x (MLVSS) = Produksi Lumpur

γ_{obs} = Lumpur yang Dihasilkan

C_a = Konsentrasi BOD pada Activated Sludge

Q_a = Debit Bak Total (m^3/s)

K. Kontrol F/M

$$F/M = \frac{Q_a \times C_a}{V \times X}$$

Keterangan:

F/M = F/M Ratio

C_a = Konsentrasi BOD pada Activated Sludge

Q_a = Debit Bak Total (m^3/s)

V = Volume Bak (m^3)

X = MLSS

L. Debit Lumpur (Q_s) dari tangki Activated Sludge

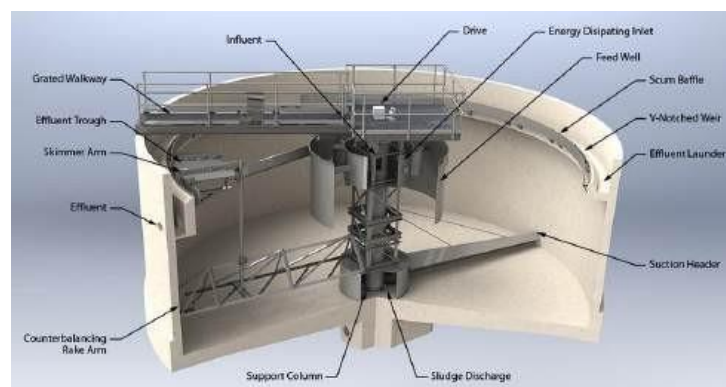
$$Q_s = \frac{V}{\theta_c}$$

Keterangan:

V = Volume Bak (m^3)

θ_c = Periode Lumpur

2.3.3.3 Clarifier



Gambar 2.10 Unit Clarifier

(Sumber : <https://images.app.goo.gl/1cTUv8D27wLeWZJBA>)

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu

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

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

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

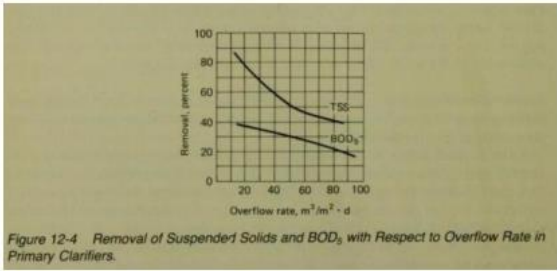
Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang tertampung di secondary clarifier ini sudah memenuhi baku mutu air limbah sehingga dapat dibuang langsung ke saluran air kotor atau diolah dan dimanfaatkan. Air yang telah diolah dan ditampung di secondary clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, 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.

Berikut ini adalah kriteria perencanaan unit Clarifier dan rumus yang digunakan dalam merancang bangunan ini.

Tabel 2.10 Kriteria Perencanaan Clarifier

Zona Pengendapan (Settling Zone)			
i.	Over Flow Rate (OFR)		
	- Average	=	30-50 m ³ /m ² .hari
	- Peak	=	70-130 m ³ /m ² .hari
 Figure 12-4 - Removal of Suspended Solids and BOD₅ with Respect to Overflow Rate in Primary Clarifiers.			
(Sumber: Tabel 12.1 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)			
ii.	Waktu Tinggal (Td)	=	0,6-3,6 jam
Sumber: Tabel 12.2 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)			
(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)			
iv.	Massa Jenis (ρ)	=	0,99681 gr/cm ³
		=	996,81 kg/m ³
iv.	Flight Speed	=	0,02-0,05 m/menit
(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 398)			

v.	%Removal TSS	=	50%-70%
(Sumber: (Huisman, 1977) Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 12)			
vi.	Weir Loading Rate	=	125-500 m ³ /m ² .hari
(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 401)			
vii.	Diameter Inlet Well	=	15%-20% Diameter Bak
viii.	Ketinggian Inlet Well	=	0,5-0,7 m
ix.	Kecepatan Inlet Well	=	0,3-0,75 m/s
(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4 th Edition, halaman 401)			
x.	Bilangan Reynold (NRe) untuk v _s	=	<1 (Aliran Laminar)
xi.	Bilangan Reynold (NRe) untuk v _h	=	<2000 (Aliran Laminar)
xii.	Bilangan Freud (NFr)	=	>10 ⁻⁵ (Mencegah Aliran Pendek)
(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)			
xiii.	Specific Gravity Suspended Solid	=	1,3-1,5
(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)			
xiv.	Slope kea rah Zona Slude	xiv.	Slope kea rah Zona Slude
	- Rectangular		- Rectangular
	- Circular		- Circular
(Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 274)			

	Konsentrasi Solid		
xv.	Cek NRe Partikel < 0,5		
xvi.	Syarat terjadinya pengendapan ($T_p < T_d$)		
xvii.	Syarat terjadinya penggerusan ($V_{sc} > V_h$)		
xviii.	Suhu air buangan 26 °C, sehingga:		
	- Kinematic Viscosity (ν)	=	$8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
	- Absolute Viscosity (μ)	=	$8,746 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
	- Massa Jenis (ρ)	=	$0,99681 \text{ g/cm}^3$
		=	$996,81 \text{ kg/m}^3$
(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762)			
xix.	Koef. Manning (n)	=	0,012-0,016
(Sumber: (Indonesia, 2017) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, Halaman 101)			
xx.	Kontrol penggerusan		
	- Faktor kisi porositas (β)	=	0,05
	- Faktor fraksi hidrolis (λ)	=	0,03
(Sumber: (Huisman, 1977) Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 57)			
Zona Lumpur (Sludge Zone)			
i.	Volatile Solid	=	60%-90%
ii.	Dry Solid	=	3%-8%
(Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment			

Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 428)			
iii.	Specific Gravity Suspended Solid	=	1,3-1,5
(Sumber :(Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)			
iv.	Massa Jenis (ρ)	=	0,99681 gr/cm ³
		=	996,81 kg/m ³
(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762)			

Rumus Perhitungan

➤ Zona Pengendapan (settling zone)

1. Qin pada Clarifier

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

2. Luas Permukaan

$$A = \frac{Q}{\text{Over Flow Rate}}$$

3. Diameter Bak

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

4. Cek Over Flow Rate

$$\text{Over Flow Rate} = \frac{Q}{A}$$

5. Cek Waktu Detensi

- Volume Zona Pengendapan

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

- Waktu Sesuai Overflow Design

$$T_d = \frac{V}{Q_{in}}$$

6. Kecepatan Pengendapan (V_s)

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

7. Kecepatan Horizontal

$$V_h = \frac{D}{t_d}$$

8. Jari-Jari Hidrolis

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

9. Diameter Partikel

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

10. Cek Bilangan Reynold Partikel (NRe Partikel)

$$N_{re \text{ Partikel}} = \frac{D_p \times V_s}{\mu}$$

11. Cek Bilangan Reynold (Nre)

$$N_{re} = \frac{v_h \times R}{\nu}$$

12. Cek Bilangan Freund (Nfr)

$$N_{fr} = \frac{v_h}{\sqrt{g \times H}}$$

13. Cek Penggerusan/ Kecepatan Scouring (V_{sc})

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times k (s_g - 1) \times g \times d_p}{f}}$$

➤ Zona Inlet

1. Diameter Inlet Wall (DIW)

$$D_{iw} = 20\% \times \text{Diameter Bak}$$

2. Luas Permukaan

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

3. Kecepatan Inlet

$$V' = \frac{Q_{in}}{A}$$

4. Pipa Inlet

- Luas Penampang Pipa (A)

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

- Diameter Pipa (D)

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

5. Vcek

$$V_{cek} = \frac{q_{in}}{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

➤ **Zona Thickening**

1. MLVSS dalam Clarifier

$$MLBSSBa = \%Biological \times MLVSS \text{ total}$$

$$MLVSSCLARIFIER = MLVSS \text{ total} - MLBSSBa$$

4. Massa Solid Total Clarifier

$$M_{solid \text{ Total}} = MLVSS \text{ total} \times V \text{ clarifier}$$

5. Kedalaman Zona Penipisan

$$H = \frac{M_{solid \text{ total}}}{X \times A}$$

➤ **Zona Lumpur (Sludge Zona)**

1. Removal TSS

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \text{Removal TSS}))$$

2. Berat Solid

$$\text{Berat Solid MLVSS} = (\text{removal TSS} \times Q_{in} + P \times MLSS)$$

3. Berat Jenis Solid

$$\text{Berat Jenis Solid} = \text{Spesific Gravity Of Solid } (S_s) \times \rho \text{ air}$$

4. Volume Solid

$$\text{Volume Solid} = \frac{\text{Berat Solid}}{\text{Berat Jenis Solid}}$$

5. Berat Air

$$\text{Berat Air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{Berat Solid}$$

6. Volume Air

$$\text{Volume Air} = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Jenis Air}}$$

7. Volume Sludge

$$\text{Volume Sludge} = \text{Volume Solid} + \text{Volume Air}$$

8. Debit Lumpur

- Luas Penampakan Pipa Sludge

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

- Diameter Pipa Sludge

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

- Kecepatan Aliran

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

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

9. Massa Jenis Sludge

$$\rho_{\text{sludge}} (\rho_{\text{sg}}) = S_g \times \rho_{\text{air}}$$

10. Berat Sludge

$$\text{Berat Sludge} = \text{Volume sludge} \times \text{Massa Jenis Sludge}$$

11. Dimensi Ruang Lumpur

- Kedalaman Ruang Lumpur

$$\text{Vruang Lumpur} = \frac{1}{3} \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + (R \times r))$$

- HClarifier

$$H \text{ Clarifier} = H_{\text{settlingzone}} + H_{\text{thickeningZone}} + H_{\text{sludge Zone}}$$

➤ **Zona Outlet**

1. Panjang Pelimpah

$$L_{\text{weir}} = \pi \times D \text{ bak}$$

2. Jumlah V notch

$$N_{\text{notch}} = \frac{L_{\text{weir}}}{\text{jarak antar v notch}}$$

3. Debit melalui V notch

$$Q = \frac{Q}{n}$$

4. Tinggi Limpahan Melalui V notch

$$Q = \frac{8}{15} \times C_d \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^5 / 2$$

5. Luas Permukaan Saluran Pelimpah

$$A = \frac{Q_{\text{in}}}{v}$$

6. Tinggi Saluran

$$H = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

7. Lebar Saluran

$$W = 2H$$

8. Freeboard

$$\text{Freeboard} = 20\% \times H$$

9. Htotal

$$H_{\text{total}} = \text{fb} + H_{\text{total}}$$

10. Diameter Pipa Inlet Dari Activated Sludge

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

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

$$V_{cek} = \frac{Q}{A}$$

11. Diameter Pipa Outlet Ke Badan Air

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

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

12. Diameter Pipa Resirkulasi Ke Activated Sludge

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

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

13. Diameter Pipa Sludge ke Sludge Drying Bed

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

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

$$V_{cek} = \frac{Q}{A}$$

14. Kecepatan aliran saat masuk (suction)

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

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

15. Headloss Mayor

$$H_f \text{ mayor} = \frac{10,67 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times L$$

16. Headloss Minor

$$H_f \text{ elbow } 90^\circ = n \times k^2 \cdot \frac{v^2}{2g}$$

17. Kecepatan aliran saat keluar (discharge)

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

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

2.3.4. Tertiary Sludge

2.3.4.1 Sludge Drying Bed

Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari thickener. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari.

Pengeluaran air lumpur dilakukan melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan drying bed. Bak pengering berupa bak dangkal berisi media penyaring pasir dan batu kerikil sebagai penyangga pasir, serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar bak pengering dibuat saluran atau pipa pembuangan air (drain). Media penyaring merupakan bahan yang memiliki pori besar untuk ditembus air. Pasir, ijuk, dan kerikil merupakan media penyaring yang sering digunakan.

Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengeringan alami dengan matahari, maka air akan keluar melalui saringan dan penguapan. Pada mulanya keluarnya air melalui saringan berjalan lancar dan kecepatan pengurangan air tinggi, tetapi jika bahan penyaring (pasir) tersumbat maka proses pengurangan air hanya tergantung kecepatan penguapan. Kecepatan pengurangan air pada bak pengering lumpur seperti ini bergantung pada penguapan dan penyaringan, dan akan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, sinar matahari, hujan, ketebalan lapisan lumpur, kadar air, sifat lumpur yang masuk dan struktur kolam pengeringan (Metcalf & Eddy, 2004). Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

- a. Waktu Pengeringan = 5-15 Hari
- b. Tebal Sludge Cake = 20-30 cm
- c. Tebal Pasir = 23-30 cm

- d. Lebar (W) = 6 m
- e. Panjang (L) = 6-30 m
- f. Slope = 1%
- g. Kecepatan Aliran = >0,75 m/s
- h. Berat Air dalam Cake (Pi) = 60%-70%
- i. Kadar Air (P) = 60%-80%
- j. Kadar Solid = 20%-40%
- k. Sludge Loading Rate = 120-150 kg/solid kering/m².tahun
(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 1570-1572)
- l. W: L = 1: 4
(Sumber: SNI 7510 – 2011)

Tabel 2.11 Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Tebal pasir	23-30	cm	Qasim, 1985
2.	Tebal kerikil	20-30	cm	
3.	Sludge loading rate	100-300	kg/m ² .tahun	
4.	Tebal bed	20-30	cm	
5.	Lebar bed	5-8	m	
6.	Panjang bed	6-30	m	
7.	Waktu pengeringan	10-15	hari	
8.	Uniformity coefficient	<4		
9.	Effective size	0,3-0,75	mm	
10.	V air dalam inlet	0,75	m/detik	
11.	V air dalam drain	0,75	m/detik	
12.	Tebal lumpur	200-300	mm	
13.	Kecepatan Pipa Underdrain	0,75	m/detik	Metcalf &
14.	Diameter Pipa Underdrain	>100	Mm	

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
15.	Koef. Keseragaman	<4	-	Eddy 4 th Edition., 2003
16.	Ukuran Efektif	0,3-0,785	%	
17.	Slope	>1	%	
18.	Rasio lebar:panjang	6:6-30	-	

Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung sludge drying bed antara lain:

1. Tebal Media

$$\text{Tebal Media} = \text{Tebal Pasir} + \text{Tebal Kerikil} + \text{Tebal Cake}$$

2. Volume Lumpur Tiap Bed

$$V_b = \frac{\text{Volume Lumpur Total}}{\text{Jumlah bed}}$$

3. Volume Sludge Cake (Vi)

$$V_i = \frac{V_b (1-p)}{(1-Pi)}$$

4. Volume Sludge Drying Bed

$$V = Xi \times Td$$

5. Dimensi Sludge Drying Bed

$$A = \frac{\text{Volume}}{\text{Tebal cake}}$$

$$A = L \times B$$

$$B = \sqrt{\frac{275}{2}}$$

$$L = 2B$$

6. Volume Air (Va)

$$V_a = \frac{\text{Volume Lumpur Total} - v_i}{\text{Jumlah bed}} \times td$$

7. Kedalam Underdrain

$$\text{Hunderdrain} = \frac{V_a}{A \text{ bed}}$$

8. Kedalaman Total

$$H \text{ air} = \text{Kedalam media} + \text{Kedalaman underdrain}$$

$$H \text{ bangunan} = H \text{ air} + H_{fb}$$

9. Debit Pipa Underdrain

$$Q = \frac{Va}{Tc}$$

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

2.4 Persen Removal

Tujuan dari proses pengolahan limbah adalah menurunkan beban pencemar pada limbah tersebut. Banyaknya penurunan beban pencemar dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar.

Tabel 2.12 Persen Removal Unit Pengolahan Air

Unit	Bahan Pencemaran	Range Kemampuan Penyisihan	Sumber Literatur
Anaerobic Baffle Reactor	BOD	70-95%	Dirjen Cipta Karya. 2017. Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja. Hal 74.
	COD	60-90%	
	TSS	80-90%	
Activated Sludge	BOD	80-90%	Cavesseno. V (1987) Hal 15
	COD	60-90%	
	Nitrogen	97-100%	
Clarifier	TSS	60-88%	Metcalf & Eddy,
	BOD	25-40%	

Unit	Bahan Pencemaran	Range Kemampuan Penyisihan	Sumber Literatur
			Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4nd Edition Chapter 396

2.5 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing-masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (headloss) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi setiap unit instalasi dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan baik pada perhitungan yang telah dilakukan pada bab masing-masing bangunan sebelumnya maupun yang langsung dihitung pada bab ini.

Profil Hidrolis IPAM adalah merupakan upaya penyajian secara grafis “hydraulic grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influent-effluent) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, memastikan tidak terjadi banjir atau luapan air akibat aliran balik. Profil hidrolis adalah faktor yang penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan/ head tekan (dalam tinggi kolom air) yang tersedia bagi pengaliran. Head ini dapat disediakan oleh beda elevasi (tinggi ke rendah) sehingga air pun akan mengalir secara gravitasi. Jika tidak terdapat beda elevasi yang memadai, maka perlu diberikan head tambahan dari luar, yaitu dengan menggunakan pompa.

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen- effluen) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat

aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

2.5.1 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
- d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus di hitung secara khusus

2.5.2 Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup.

Kehilangan tekanan pada perpipaan

- a. Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram. b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, disini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S.
- b. Kehilangan tekanan pada pomp
Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak factor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya
- c. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok Cara perhitungan juga dengan bantuan monogram

2.5.3 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 antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di clear well.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum clear well demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama.
- d. Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air
- e. Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air.

2.6 BOQ dan RAB

2.6.1 BOQ (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 perencana.

Tujuan membuat BoQ adalah:

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

2.6.2 RAB (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:

- d. Dalam RAB telah tercantum seluruh item pekerjaan, volume serta harga satuan pekerjaan,
- e. Item pekerjaan, volume dan harga satuan yang ada dalam RAB sifatnya mengikat. Artinya tidak dapat berubah (bertambah atau berkurang) kemudian hari,
- f. 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 nge-sub 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.

Berdasarkan situasi seperti ini, maka tujuan melakukan penyusunan RAB adalah:

- 1. Untuk keperluan pengajuan penawaran harga dengan sistem lump sum,
- 2. Sebagai dasar melaksanakan saat klarifikasi dan negosiasi harga,
- 3. Pedoman untuk pelaksanaan proyek bilamana kontraktor ternyata menang tender