

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Air Lindi**

Setiap industri mempunyai karakteristik limbah yang berbeda. Begitu pula dengan air lindi dari TPA yang memiliki sifat dan komposisi yang berbeda dengan limbah dari industri lainnya. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 59 Tahun 2016, air lindi mempunyai karakteristik dan standard baku mutu antara lain:

##### **2.1.1 pH**

pH adalah ukuran yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan dari suatu larutan encer, dan mencerminkan konsentrasi ion hidrogen di dalamnya. pH memiliki peran yang signifikan dalam menilai kualitas air karena memengaruhi berbagai proses biologis dan kimia di dalamnya. Khususnya untuk air minum, pH yang netral (+7) dianggap ideal karena memengaruhi efektivitas proses klorinasi. Secara prinsip, pH memiliki peran dalam mengatur proporsi karbon dioksida, karbonat, dan bikarbonat, yang merupakan faktor penting dalam menjaga keseimbangan kimia dalam air (Chapman, 2000).

##### **2.1.2 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).

### **2.1.3 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. Menurut Perry (1998), waktu 5 (lima) hari merepresentasikan hanya sebagian dari total BOD. Menurut Perry (1998), diperkirakan 70% material organik dapat terurai selama durasi 5 hari oleh mikroorganisme secara alami. Pada air limbah domestik dengan temperatur 20°C, materi organik dapat terurai seluruhnya (100% BOD) pada waktu setelah 20 hari (Brake, 1998). Namun, dalam kondisi tertentu, air limbah domestik dapat mengandung senyawa nitrogen organik, amonia, dan nitrit yang berpotensi membutuhkan oksigen untuk teroksidasi menjadi nitrat. Reaksi ini dapat terjadi pada hari ke-6. Oleh karena itu, BOD5 dinilai lebih representatif untuk menggambarkan fenomena oksidasi materi organik di dalam air limbah domestik. 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).

### **2.1.4 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).

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 (Nusa Idaman Said, 2017).

### **2.1.5 Total N**

Menurut Effendi (2003), Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrat dan nitrit adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi amonia menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrosomonas, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrobacter. Kedua jenis bakteri tersebut merupakan bakteri kemotrofik, yaitu bakteri yang mendapatkan energi dari proses kimiawi (Effendi, 2003). Pada limbah yang belum diolah, nitrogen dijumpai dalam bentuk nitrogen organik dan komponen amonium. Nitrogen organik akan diubah oleh aktivitas mikroba menjadi ion amonium. Bila kondisi lingkungan mendukung maka mikroba nitrifikasi mampu mengoksidasi amonia. Mikroba tersebut bersifat autotropik yaitu mendapatkan energinya melalui proses oksidasi dari ion ammonium (Effendi, 2003).

Proses kombinasi aerob-anaerob biasanya digunakan untuk menyisihkan kandungan nitrogen di dalam air limbah. Untuk penyisihan nitrogen, pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi, yaitu amonia diubah menjadi ion amonium dan nitrat ( $\text{NH}_4+\text{NO}_3^-$ ) dan pada kondisi anaerobik (anoxic) terjadi proses denitrifikasi, yaitu nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen ( $\text{NO}_3-\text{N}_2$ ). Kombinasi proses aerob-anaerob juga dapat menghilangkan fosfor maupun BOD/COD secara bersamaan dengan baik. Selama berada pada kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diambil oleh bakteri/mikroorganisme dan disintesis menjadi polifosfat dengan

menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa BOD/COD. Sementara pada kondisi anaerob, senyawa fosfor anorganik yang ada dalam sel-sel mikroorganisme akan keluar sebagai akibat hidrolisis senyawa fosfor, sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap BOD (senyawa organik) yang ada dalam air limbah (Satria et al., 2019).

### **2.1.6 Merkuri**

Logam merkuri atau air raksa, mempunyai nama kimia hydragyrum yang berarti perak air. logam merkuri dilambangkan dengan Hg. Pada tabel periodika unsur-unsur kimia menempati urutan (NA) 80 dan mempunyai bobot atom (BA 200,59). Merkuri telah dikenal manusia sejak manusia mengenal peradaban. Logam ini dihasilkan dari biji sinabar, HgS, yang mengandung unsur mekruri antara 0,1%-4%.

Merkuri yang telah dilepaskan kemudian dikondensasi, sehingga diperoleh logam cair murni. Logam cair inilah yang kemudian digunakan oleh manusia untuk bermacam-macam keperluan. Merkuri dan senyawa-senyawanya, seperti halnya dengan logam yang lain, tersebar luas di alam. Mulai dari batuan, air, udara dan bahkan dalam tubuh organisme hidup. Penyebaran dari logam merkuri ini, turut dipengaruhi oleh faktor geologi, fisika, kimia dan biologi (Palar, 2008). Merkuri (Hg) merupakan racun sistematik dan diakumulasi di hati, ginjal, limpa, dan tulang. Oleh tubuh Hg diekresikan lewat urin, feses, keringat, saliva, dan air susu. Di alam, Hg an organik dapat berubah menjadi organik dan sebaliknya karena adanya interaksi dengan mikroba. Genus *Pseudomonas* dan *neuro spora* dapat mengubah Hg anorganik menjadi Organik *Staphilococcus aureus* antara lain dapat mereduksi Hg<sup>2+</sup> menjadi Hg elementa (Slamet J.S, 2009). Ada tiga bentuk merkuri yang toksik terhadap manusia ialah merkuri elemen (merkuri murni), bentuk garam inorganik dan bentuk organik. Bentuk garam inorganik Hg dapat berbentuk merkuri (Hg<sup>2+</sup>) dan bentuk merkuro (Hg), dimana bentuk garam merkuri lebih toksik daripada merkuro. Bentuk organik Hg seperti aril, akil, dan alkoksi alkil sangat beracun di antara bentuk garam lainnya (Darmono, 2001).

### **2.1.7 Kadmium**

Logam Kadmium (Cd) merupakan logam yang bernomor atom 48 dan massa atom 112,41. Logam ini termasuk dalam logam transisi pada periode V

dalam tabel periodik. Logam Cd dikenal sebagai unsur chalcophile, jadi cenderung ditemukan dalam deposit sulfide (Manahan,2001). Kemelimpahan Cd pada kerak bumi adalah 0,13  $\mu\text{g/g}$ . Pada lingkungan akuatik, Cd relatif bersifat mudah berpindah. Cd memasuki lingkungan akuatik terutama dari deposisi atmosferik dan efluen pabrik yang menggunakan logam ini dalam proses kerjanya. Di perairan umumnya Cd hadir dalam bentuk ion-ionnya yang terhidrasi, garam-garam klorida, terkomplekskan dengan ligan anorganik atau membentuk kompleks dengan ligan organik (Weiner,2008). Cd di sedimen perairan yang tak terkontaminasi berkisar antara 0,1 sampai 1,0  $\mu\text{g/g}$  bobot kering. Pada umumnya di air permukaan, baik Cd terlarut maupun partikulatnya secara rutin dapat terdeteksi. Koefisien distribusi Cd partikulat/Cd terlarut pada perairan sungai di dunia berkisar dari 104 sampai 105. Fluks input antropogenik secara global per tahun jauh melebihi emisi Cd dari sumber alamiahnya seperti kegiatan gunung berapi, Windborne soil particles, garam- garam dari laut dan partikel biogenik sampai dengan satu tingkatan magnitude (Csuros and Csuros,2002).

Secara global sumber utama Cd adalah dari deposisi atmosferik, proses smelting dan refining dari logam non ferrous, proses industri terkait produksi bahan kimia dan metalurgi, serta air buangan limbah domestik. Hanya 15% saja dari deposisi atmosferi yang berasal dari sumber-sumber alamiah. Diperkirakan 1.000 ton Cd dilepaskan per tahun ke atmosfer dari smelters dan pabrik-pabrik yang mengolah Cd. Pelepasan Cd ke dalam perairan alamiah sebagian besar berasal dari industri galvanik, sumber lain polusi Cd adalah industri baterai, pupuk dan fungisida yang mengandung Cd dan Zn juga merupakan sumber potensial polusi kedua logam ini (Allen et al., 1998).

Kadmium (Cd) merupakan logam yang bersifat kronis dan pada manusia biasanya terakumulasi dalam ginjal. Keracunan Cd dalam waktu yang lama membahayakan kesehatan paru-paru, tulang, hati, kelenjar reproduksi dan ginjal. Logam ini juga bersifat neurotoksin yang menimbulkan dampak rusaknya indera penciuman (Anwar,1996).

## 2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dengan baik agar dapat menurunkan beban pencemar secara efektif. Menurut (Sugiharto, 1987), dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan yaitu:

### a. Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Pengolahan pendahuluan merupakan tahap awal dalam proses pengolahan air limbah yang digunakan untuk menghilangkan pengotor tertentu maupun untuk menstabilkan air limbah sehingga mampu diterima pada unit pengolahan berikutnya. Pengolahan pendahuluan bertujuan untuk menyaring sampah-sampah terapung yang masuk bersama dengan air agar dapat mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Contohnya seperti, menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu pengolahan pendahuluan juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari unit operasinya ke bangunan pengolahan air limbah. Unit pengolahan air limbah secara umum dalam pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*) diantaranya adalah intake & screening/shredding, grit removal, flow equalization, pra-sedimentasi, dan quality equalization.

### b. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses yang terjadi yaitu secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat yang tercampur melalui pengapungan dan pengendapan. Tujuan dari pengolahan primer adalah untuk menghilangkan partikel-partikel padat organik dan anorganik melalui proses fisika, yaitu sedimentasi atau flotasi. Partikel padat organik akan dibuat mengendap (*sludge*) sedangkan minyak dan lemak akan berada di atas permukaan (*grease*). Instalasi pada tahap pengolahan primer diantaranya adalah sedimentasi primer dan flotasi.

### c. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Proses pengolahan ini dilakukan untuk menghilangkan kandungan organik pada air limbah dengan proses biologis. Di dalam proses pengolahan air limbah khususnya yang mengandung polutan senyawa organik, teknologi yang digunakan sebagian besar menggunakan aktifitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan organik tersebut. Proses pengolahan air limbah dengan aktifitas mikroorganisme biasa disebut dengan “Proses Biologis”. Pengolahan air limbah secara biologis secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yakni proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*) dan proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam. Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktifitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air dan mikroorganisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor. Beberapa contoh proses pengolahan dengan sistem ini antara lain proses lumpur aktif standar atau konvensional (*standard activated sludge*), *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, *oxidation ditch* (kolam oksidasi sistem parit) dan lainnya. Proses biologis dengan biakan melekat yakni proses pengolahan limbah dimana mikro-organisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain: *trickling filter*, biofilter tercelup, reaktor kontak biologis putar (*rotating biological contactor*, RBC), *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), *contact aeration/oxidation* (aerasi kontak) dan lainnya.

d. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab menimbulkan bau; bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.; hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0,25% - 12% solid). Tujuan utama dari pengolahan

lumpur adalah mereduksi lumpur dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

### 2.2.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa merupakan saluran yang digunakan untuk mengalirkan air limbah dari unit bangunan ke unit bangunan lainnya. Saluran pembawa dibedakan menjadi saluran pembawa tertutup (*pipe flow*) dan saluran pembawa terbuka (*open channel flow*). Saluran pembawa tertutup (*pipe flow*) merupakan sistem saluran yang permukaan airnya tidak memiliki kontak dengan udara luar, sehingga saluran tertutup memiliki suatu tekanan hidraulik.



**Gambar 2.1** Saluran Pembawa Tertutup

Saluran terbuka (*open channel flow*) merupakan sistem saluran yang permukaan airnya memiliki kontak dengan udara luar. Saluran terbuka memiliki beberapa macam bentuk diantaranya segi empat, trapesium, segitiga, dan setengah lingkaran. Saluran ini biasanya terbuat dari dinding berbahan beton, sehingga dipengaruhi oleh koefisien manning ( $n$ ).



**Gambar 2.2** Saluran Pembawa Terbuka

Adapun kriteria perencanaan saluran terbuka yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Freeboard = 5 % - 30%

- b. Kecepatan aliran ( $v$ ) = 0.3 – 0.6 m/s  
(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 316)
- c. Koefisien Manning ( $n$ ) = 0,013  
(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2015, tabel 4.2 harga koefisien manning ( $n$ ), hal 113)

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk merencanakan saluran pembawa:

- Luas Permukaan Luas Permukaan (A)

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa ( $m^2$ )

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

v = kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/s)

- Diameter pipa (D)

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa ( $m^2$ )

D = diameter pipa (m)

$\pi$  = phi dengan besar 3,14

- Headloss saluran pembawa

$$H_f = \left(\frac{v \times n}{R^{\frac{2}{3}}}\right)^2 \times L$$

Keterangan:

$H_f$  = kehilangan tekanan pipa (m)

n = koefisien kekasaran manning

R = jari – jari hidrolis (m)

L = panjang pipa (m)

- Slope

$$S = \frac{H_f}{L}$$

Keterangan:

S = kemiringan pipa (m/m)

$H_f$  = kehilangan tekanan pipa (m)

$L$  = Panjang pipa (m)

### 2.2.2 Bak Penampung



**Gambar 2.3** Bak Penampung

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

Pada perancangan ini digunakan bak Penampung, adapun kriteria perancangan dan rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Kriteria Perencanaan:

- a. Freeboard = 5% - 30 % b
- b. Waktu Detensi = > 2 jam c
- c. Kedalaman =  $\leq$  4 meter

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 344)

Rumus:

- a. Volume bak penampung

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan:

$$V = \text{volume bak penampung (m}^3\text{)}$$

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

$T_d$  = waktu detensi (s)

b. Dimensi Bak

$H_{total} = H + f_b$

$V = L \times W \times H$

$L = 2 \times W$

Keterangan:

$H$  = Kedalaman bak control (m)

$f_b = 20\% \times H$

$V$  = volume bak penampung ( $m^3$ )

$L$  = panjang bak penampung (m)

$W$  = lebar bak penampung (m)

c. Luas Bak Penampung

$A = L \times W$

Keterangan:

$A$  = luas bak penampung ( $m^2$ )

$L$  = panjang bak penampung (m)

$W$  = lebar bak penampung (m)

### 2.2.3 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi merupakan unit pengolahan yang bertujuan untuk meminimalkan atau mengendalikan fluktuasi karakteristik air limbah agar dapat memberikan kondisi yang optimal untuk proses pengolahan selanjutnya (Eckenfelder, 2001).

Selain itu, bak ekualisasi dapat digunakan untuk mengatasi masalah operasional yang disebabkan oleh variasi debit, yang nanti akan tercapai debit yang konstan dalam sejumlah situasi yang berbeda (Metcalf & Eddy, 2004). Dalam prosesnya, bak ekualisasi dibantu dengan mixing atau aerasi, biasanya dilakukan untuk memastikan pemerataan yang memadai dan untuk mencegah padatan yang mengendap pada dasar bak. Beberapa metode yang telah digunakan untuk mixing atau aerasi meliputi: distribusi aliran masuk dan penyekat/baffle, mixing turbin, diffused air aeration, mechanical aeration, mixer terendam (Eckenfelder, 2001).

Agar mencegah terbentuknya padatan tersuspensi dalam dasar bak serta untuk meningkatkan konsentrasi *dissolved oxygen* (DO) dan mengurangi beban organik, dalam proses pemerataan konsentrasi lumpur tinja, bak ekualisasi dibantu menggunakan baffle pada titik influen, turbin, aerasi dengan diffuser atau aerator dengan waktu tinggal di dalam bak atau *hydraulic retention time* (HRT) yaitu 4-8 jam (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Dalam unit bak ekualisasi, tidak terdapat persen removal untuk parameter tertentu.

#### 2.2.4 Sedimentasi

Removal dari bak pengendap pertama ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Unit pengolahan bak pengendap I ini berfungsi untuk memisahkan padatan tersuspensi dan terlarut dari cairan dengan menggunakan sistem gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Bak sedimentasi bentuk Rectangular terbagi menjadi empat zona, yaitu :

1) Zona Inlet

Zona inlet berfungsi untuk mendistribusikan air ke seluruh area bak secara seragam, mengurangi energi kinetik air yang masuk, serta untuk memperlancar transisi dari kecepatan air yang tinggi menjadi kecepatan air yang rendah yang sesuai untuk terjadinya proses pengendapan di zona pengendapan (Kawamura, 2000).

2) Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh faktor-faktor yaitu karakteristik partikel tersuspensi, *Overflow rate*, dan efisiensi bak.

3) Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

Zona lumpur merupakan zona dimana partikel-partikel diskret yang telah mengendap berada. Zona ini memiliki kemiringan tertentu menuju ke hopper yang terletak di bagian bawah inlet. Kemiringan dasar bak Rectangular adalah sebesar 1-2%. Zona lumpur didesain memiliki kemiringan tertentu agar mempermudah pada saat pembersihan lumpur. Kemiringan yang cukup terutama untuk pembersihan yang dilakukan

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

#### 4) Zona Outlet

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

Berikut ini adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan untuk menghitung Bak Sedimentasi pada setiap bagiannya :

##### 1) Zona Settling

Kriteria Perencanaan:

- Waktu detensi ( $t_d$ ) = 1,5 – 2,5 jam
- Overflow rate ( $O_{fr}$ ) = 30 – 50  $m^3/m^2.hari$
- Weir Loading = 125 – 500  $m^3/m^2.hari$

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Treatment and Reuse 4th edition, hal 398. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

- Specify Gravity Sludge ( $S_g$ )= 1,03
- Specify Gravity Solid ( $S_s$ ) = 1,4

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Treatment and Reuse 4th edition, hal 1456. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

- Tebal plate settler = 0,005 m
- Jarak plate settler = 0,05 m
- Kemiringan plate settler = 60°

(Sumber : L. Huisman Sedimentation and Flotation, halaman 80)

- Slope = 1-2%  
(Sumber: L. Huisman Sedimentation and Flotation, halaman 42)
- Bilangan Reynold (Nre) < 2000 (Laminer)
- Bilangan Froude (Nfr) >10<sup>-5</sup>  
(Sumber: L. Huisman Sedimentation and Flotation, halaman 73)
- Freeboard = 5 – 30 %  
(Sumber : Ven Te Chow. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 159. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)
- Faktor kisi porositas (β) = 0,02 – 0,12
- Faktor fraksi hidrolis (α) = 0,03 m (Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 184)

Rumus:

- Luas Permukaan (A)
- $A = \frac{Q}{OFR}$
- Cek OFR (over flow rate)  
 $OFR = \frac{Q}{L \times W}$
- Kecepatan Horizontal (vh)  
 $vh = \frac{Q}{L \times H}$
- Diameter partikel  
 $Dp = \sqrt{\frac{Vs \times 18 \times v}{g (Ss - 1)}}$
- Bilangan Reynold  
 $Nre = \frac{vh \times R}{\mu}$
- Bilangan Freud  
 $Nfr = \frac{vh^2}{\sqrt{g \times R}}$
- Cek kecepatan penggerusan/scouring (vsc)  
 $vsc = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times (\rho_{sludge} - \rho_{air}) \times Nfr}{\alpha \times \rho_{air}}}$
- Slope Bak (s)  
 $s = 2\% \times L$

Keterangan :

$s = \text{slope bak (m/m)}$

$L = \text{panjang bak (m)}$

## 2) Zona Inlet

Rumus :

- Luas Permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan:

$A = \text{Luas permukaan (m}^2\text{)}$

$W = \text{Lebar bak (m)}$

$L = \text{Panjang bak (m)}$

- Volume zona inlet

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan :

$V = \text{Volume bak (m}^3\text{)}$

$Q = \text{Debit air limbah (m}^3\text{/s)}$

$T_d = \text{Waktu detensi (s)}$

## 3) Zona Lumpur

Kriteria Perencanaan :

- Berat jenis air ( $\rho_w$ ) = 996,3 kg/m<sup>3</sup>

- Berat jenis lumpur ( $\rho_s$ ) = 2650 kg/m<sup>3</sup>

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996)

- Specific solid ( $S_s$ ) = 1,4

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Rumus :

- Parameter yang terendapkan di zona sludge

$$= (\text{TSS influent} \times \% \text{ removal}) + (\text{BOD influent} \times \% \text{ removal})$$

- Lumpur yang dihasilkan/berat lumpur ( $W_s$ )

$$= Q \text{ limbah} \times \text{solid yang mengendap}$$

- Berat Air ( $W_w$ ) =  $\frac{\text{Kadar air dalam lumpur}}{\text{Kadar padatan dalam lumpur}} \times \text{berat lumpur}$

- Berat jenis lumpur = (berat jenis SS  $\times$  10%) + (berat jenis air  $\times$  90%)

- Volume lumpur =  $\frac{\text{Lumpur yang dihasilkan} + \text{berat air}}{\text{berat jenis lumpur} \times \text{waktu pengurasan}}$
- Volume Zona sludge  $V = \frac{1}{3} \times H \times (A1 + A2 + \sqrt{A1 + A2})$
- Debit pipa pengurasan sludge (Qp) =  $\frac{\text{Volume lumpur}}{\text{waktu pengurasan}}$

#### 4) Zona Outlet

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran pipa (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Weir Loading Rate = 125 – 500 m<sup>3</sup>/m.hari  
(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse 4th Edition, hal 398)
- Koefisien drag (Cd) = 0,548
- Sudut V notch = 45  
(Sumber: Qasim, dkk., 2000, Water Work Engineering Planning, Design, and Operation)
- Koefisien manning (n) = 0,013  
(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Tabel 4.2 Harga koefisien manning) Rumus Gutter dan Weir:
- Debit unit outlet = Q limbah – Q pengurasan sludge
- Panjang total weir (Lw) =  $\frac{Q}{WLR}$
- Panjang pelimpah (Lp) =  $\frac{Lw}{\text{jumlah pelimpah}}$
- Debit tiap pelimpah (Qp) =  $\frac{Q}{2}$
- Luas saluran pelimpah (A) =  $\frac{Qp}{0,5}$
- Tinggi (Hp) dan Lebar (Wp) pelimpah  

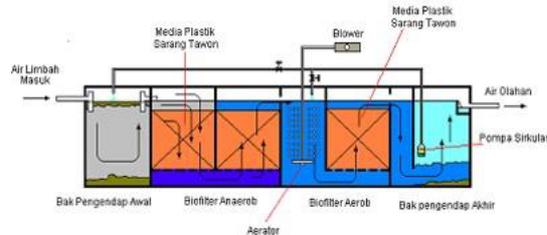
$$Hp = \sqrt{2 \times A}$$

$$Wp = 2 \times Hp$$
- Ketinggian air pada gutter (H air) = (QWP × 1,38)<sup>2/3</sup>
- Tinggi gutter (H gutter) = H air + Fb
- Luas basah gutter (A basah gutter) = Lebar gutter x H air
- Slope Gutter (S) =  $(Q \times nA \text{ gutter} \times (R \text{ gutter})^{2/3})^2$
- Headloss pada gutter = L weir x S gutter

Rumus V notch

- Jumlah V notch = panjang weir Jarak antar v notch + lebar v notch
- Debit mengalir tiap v notch = Q jumlah v notch
- Tinggi peluapan melalui v notch (Hp)  $Q \text{ v notch} = 815 \times cd \times \sqrt{2} \times g \times \tan \alpha \times H^2$

### 2.2.5 Biofilter Anaerobik – Aerobik



**Gambar 2.4** Biofilter Anaerobik – Aerobik

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi (Marsidi & Herlambang, 2002). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO<sub>2</sub>, air, dan amonia. Pengolahan air limbah dengan sistem aerobik dan anaerobik menggunakan biofilter memiliki kesamaan konsep dengan trickling filter. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan keberadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik, sedangkan pada biofilter anaerobik, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).

Pengolahan limbah dengan secara anaerobik dalam aplikasinya menggunakan media biofilter dalam reaktor anaerob. Media biofilter yang digunakan bertujuan untuk tempat melekatnya mikroorganisme sehingga berguna untuk pengembangbiakan mikroorganisme tersebut. Hal ini dikarenakan, pengolahan limbah secara anaerobik merupakan suatu metabolisme tanpa menggunakan oksigen yang dilakukan oleh bakteri anaerobik. Dalam proses, anaerobik ini, yang sangat berperan adalah aktifitas mikroba dalam multi tahap pengolahan limbah secara anaerobik, yaitu tahap hidrolitik, asidifikasi, dan methanasi (Said & Firly, 2005).

Pengolahan air limbah dengan biofilm atau biofilter tercelup dilakukan dengan mengalirkan air limbah ke reaktor biologis dimana didalamnya terdapat media penyangga yang berguna dalam pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Proses biofilter aerobik dilakukan dengan memberikan udara atau oksigen. Dimana posisi media biofilter tercelup dibawah permukaan air. Senyawa polutan yang berada di air limbah seperti senyawa organik, ammonia, fosfor, dan lainnya akan berdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. ada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam 23 lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa (Said, 2017).

Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air. Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa cara yang sering digunakan antara lain adalah aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan "*air lift pump*", dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.

Jika kemampuan penyerapan oksigen besar maka kemampuan ini dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik yang besar pula. Karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula. Jika sistem aliran dilakukan dari atas ke bawah maka sedikit banyak terjadi efek filtrasi sehingga terjadi proses penumpukan lumpur organik pada bagian atas media yang dapat mengakibatkan penyumbatan. Oleh karena itu perlu proses pencucian secukupnya. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (*short pass*) dan juga

terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun secara drastis (Said, 2017).

Adapun kelebihan dan kekurangan dari sistem biofilter ini antara lain sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Kelebihan dan Kekurangan Sistem Biofilter

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

Sumber : (Kaswinarni,2007)

Adapun kriteria perencanaan biofilter anerob dan aerob adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.2** Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerob-Aerob

<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai</b>
Beban BOD per satuan permukaan media (LA)	g BOD/m <sup>2</sup> .hari	5-30
Beban BOD per m <sup>3</sup> media	Kg BOD/m <sup>3</sup> .hari	0,5-4

Waktu tinggal total rata-rata	Jam	6-8
Tinggi ruang lumpur	M	0,5
Tinggi bed media pembiakan mikroba	M	1,2
Tinggi air diatas bed media	Cm	20

Sumber: (Said, Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori Dan Aplikasi, 2017)

Berikut merupakan tahapan dan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit biologis:

#### A. Perhitungan Biofilter Anaerobik

- Beban BOD dalam air limbah =  $Q \text{ limbah} \times \text{BOD inlet}$
- Volume media yang diperlukan =  $\frac{\text{Beban BOD didalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$
- Volume reaktor yang diperlukan =  $\frac{100}{60} \times \text{Volume media}$
- Waktu tinggal didalam reaktor  

$$T_d = \frac{\text{Volume reaktor}}{Q}$$
- Dimensi reaktor  

$$\text{Volume reaktor} = P \times L \times T$$
- Dimensi media  

$$V \text{ media} = P \times L \times H$$
- BOD loading per volume media =  $\frac{\text{Beban BOD dalam air limbah}}{\text{volume media}}$
- BOD loading (jika media memiliki luas spesifik  $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ )  

$$= \frac{\text{BOD loading per volume media}}{\text{Luas spesifik media}}$$
- Produksi sludge =  $\frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$
- Pipa outlet anaerobik Diameter pipa outlet =  $\sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$

#### B. Perhitungan Biofilter Aerobik

- Beban BOD dalam air limbah =  $Q \text{ limbah} \times \text{BOD inlet}$
- Volume media yang diperlukan =  $\frac{\text{Beban BOD didalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$
- Volume reaktor yang diperlukan =  $\frac{100}{60} \times \text{Volume media}$
- Waktu tinggal didalam reaktor

$$T_d = \frac{\text{Volume reaktor}}{Q}$$

- Dimensi reaktor

$$\text{Volume reaktor} = P \times L \times T$$

- Dimensi media

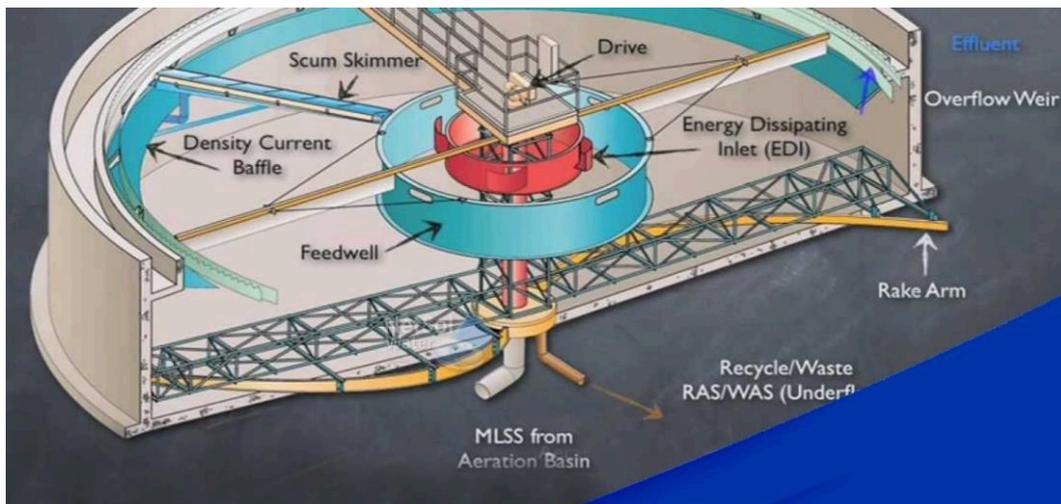
$$V \text{ media} = P \times L \times H$$

- BOD loading per volume media =  $\frac{\text{Beban BOD dalam air limbah}}{\text{volume media}}$

- BOD loading (jika media memiliki luas spesifik 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)  
=  $\frac{\text{BOD loading per volume media}}{\text{Luas spesifik media}}$

- Produksi sludge =  $\frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$

### 2.2.6 Secondary Clarifier



**Gambar 2.5** Clarifier

Sedimentasi adalah pemisahan padatan-cairan menggunakan pengendapan gravitasi untuk menghilangkan padatan tersuspensi. Bak sedimentasi biasanya dibuat dari beton bertulang dan dapat berbentuk lingkaran, bujur sangkar, atau persegi panjang sesuai perencanaan (Reynolds & Richards, 1996).

Tujuan dari pengolahan dengan sedimentasi adalah untuk menghilangkan padatan yang mudah mengendap dan material yang mengapung sehingga mengurangi kandungan padatan tersuspensi dalam air limbah. Tangki sedimentasi primer yang dirancang dan dioperasikan secara efisien tanpa penambahan bahan kimia dapat menghilangkan 50-70% padatan tersuspensi dan 25-40% BOD.

Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: surface loading (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy, 2004).

Clarifier adalah pengolahan lanjutan dari pengolahan terdahulu jika banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah khusus, seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri patogen lainnya. Clarifier sama dengan bak pengendap pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Dalam tangki melingkar, pola alirannya radial (berlawanan dengan horizontal). Untuk mencapai pola aliran radial, air limbah yang akan disetel dapat dimasukkan di tengah atau di sekitar pinggiran tangki, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Kedua konfigurasi aliran bisa digunakan, meskipun tipe influent tengah lebih umum, terutama untuk pengolahan primer. Dalam desain influent tengah (lihat Gambar 2.16a), air limbah diangkut ke pusat tangki dalam pipa yang digantungkan dari jembatan, atau dibungkus dengan beton di bawah lantai tangki (Metcalf & Eddy, 2004).

Adapun rumus-rumus yang digunakan pada unit clarifier antara lain:

- Kecepatan pengendapan partikel ( $v_s$ )

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

- Diameter partikel

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

- Kecepatan horizontal di bak ( $v_h$ )

$$V_h = \frac{Q_{in}}{\pi \times D \times H}$$

### **2.2.7 Sludge Drying Bed**

Unit *sludge drying bed* (SDB) memiliki fungsi untuk membantu proses pengeringan lumpur dengan penguapan alamiah oleh sinar matahari (Dian & Herumurti, 2016). Menurut Putri (2015), lumpur dari pengendapan biologis akan diangkut dan diletakkan pada unit SDB yang dilengkapi dengan media pasir dan

kerikil sehingga cairan dan padatan akan terpisah. Cairan akan menuju ke saluran bawah dan padatan akan dikeringkan dengan menggunakan cahaya matahari.

Menurut Cofie dkk. (2006), ketebalan media pasir kasar dan halus yang digunakan sebagai media masing-masing adalah 15 cm. Sedangkan untuk media kerikil yang digunakan memiliki ketinggian optimum 25 cm. Dengan desain sedemikian rupa, didapatkan waktu pengeringan lumpur selama 2 minggu dengan ketebalan lumpur 30 cm. Kelebihan dan kekurangan unit SDB adalah sebagai berikut.

**Tabel 2.3** Kelebihan Kekurangan Unit Sludge Drying Bed

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mudah untuk dioperasikan sehingga tidak membutuhkan operator berkemampuan khusus;</li> <li>- Padatan hasil pengeringan dapat dijadikan campuran bahan pengomposan.</li> <li>- Reduksi volume yang dihasilkan tinggi; dan</li> <li>- Dapat menyisihkan bakteri patogen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luas lahan yang dibutuhkan besar;</li> <li>- Hasil pengeringan tergantung pada kondisi cuaca;</li> <li>- Hanya dapat diaplikasikan pada musim kemarau atau dilengkapi dengan atap pada musim penghujan;</li> <li>- Pembersihan padatan kering dilakukan secara manual atau menggunakan alat khusus; dan</li> <li>- Berpotensi menimbulkan bau.</li> </ul>

Prinsip kerja unit SDB yaitu memanfaatkan penguapan alamiah oleh sinar matahari. SDB dilengkapi dengan media pasir dan kerikil di bagian bawah agar didapatkan supernatan yang kualitasnya lebih baik. Supernatan akan mengalir menuju bada air melalui sistem perpipaan bawah tanah (underdrain) (Putra, 2020). Dalam unit SDB tidak menyisihkan parameter apapun. Kriteria desain unit SDB ditunjukkan sebagai berikut.

**Tabel 2.4** Kriteria Perencanaan Sludge Drying Bed

Kriteria	Nilai	Satuan
Waktu pengeringan, HRT	10-15	hari

Tebal lapisan lumpur, $H_{\text{lumpur}}$	30-50	cm
Tebal media pasir, $H_{\text{pasir}}$	20-30	cm
Tebal media kerikil, $H_{\text{kerikil}}$	20-30	cm
Kadar air, P	60	%
Kadar solid, $P_i$	40-50	%
Kecepatan underdrain, $v$	0,75	m/detik
Kemiringan, S	1	%

### 2.3 Persen Removal

Persen removal merupakan persen keberhasilan pengolahan dalam meremoval suatu kadar pencemar. Persen removal biasanya berfungsi untuk menentukan unit mana yang sesuai untuk mengolah air limbah agar effluent dapat sesuai dengan baku mutu. Persen removal pada sistem perancangan pengolahan sangat penting digunakan untuk dapat menentukan apakah jenis atau unit pengolahan yang digunakan telah efektif dan efisien.

### 2.4 Profil Hidroulis

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 gambaran yang menunjukkan garis ketinggian muka air bebas dalam tiap unit bangunan pengolah limbah ketika proses berlangsung. Hal – hal yang perlu diperhatikan sebelum membuat Profil Hidrolis, antara lain:

- 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: kehilangan tekanan pada saluran terbuka dan kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus di hitung secara khusus.

- Kehilangan tekanan pada perpipaan dan assesoris
- 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

## **2.5 BOQ dan RAB**

### **2.5.1 BOQ**

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 :

- a. Dalam BoQ masing-masing item pekerjaan telah tercantum beserta volume.
- b. Tidak menutup kemungkinan item dan volume pekerjaan tersebut dapat bertambah atau berkurang kemudian hari, yaitu pada saat klarifikasi dan negosiasi harga.
- c. Dalam BOQ tidak tercantum harga satuan pekerjaan.
- d. Menghitung volume BOQ berdasarkan gambar rencana.
- e. Pihak yang menyusun BOQ adalah konsultan perencana.

Tujuan Membuat BOQ antara lain:

- 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.

### **2.5.2 RAB**

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.

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. sub pekerjaan konstruksi baja, RAB sub pekerjaan instalasi listrik dan seterusnya.