



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Kawasan Industri

Kawasan industri merupakan suatu lokasi pemusatan kegiatan industri yang dilengkapi sarana dan prasarana yang dikelola dan disediakan oleh perusahaan-perusahaan di kawasan industri. Kawasan industri mulai dikembangkan di Indonesia bertujuan untuk memenuhi kegiatan penanaman modal dari dalam maupun luar negeri. Perkembangan kawasan industri dimulai dari pemerintah, kemudian seiring meningkatnya investasi, pihak swasta diperbolehkan mengembangkan kawasan industri. Sejak saat itu, pertumbuhan kawasan industri berkembang pesat di Indonesia (Kwanda, 2004).

Dalam suatu kawasan industri, sarana dan prasarana yang sangat penting untuk menunjang perkembangan kawasan industri salah satunya yaitu instalasi pengolahan air limbah. Dalam instalasi pengolahan air limbah (*waste water treatment plant*) akan terjadi proses pengolahan dan pengelolaan semua limbah cair dari industri ditampung (berdasarkan *influent* yang diizinkan oleh pengelola di kawasan industri) dan diolah sesuai dengan standar kualitas *effluent* berdasarkan pemerintah, sebelum dibuang ke badan air (Kwanda, 2004).

2.2 Karakteristik Limbah Kawasan industri

Limbah cair atau air buangan merupakan sisa air dibuang yang berasal dari rumah tangga, industri maupun tempat – tempat umum lainnya, dan pada umumnya mengandung bahan-bahan atau zat – zat yang dapat membahayakan bagi kesehatan manusia serta mengganggu lingkungan hidup. Karakteristik limbah cair bervariasi dipengaruhi oleh lokasi, jumlah penduduk, industri, tata guna lahan, muka air tanah dan tingkat pemisahan antara *storm water* dan *sanitary water*. Limbah cair dibagi kedalam 3 kategori :

- *Domestic wastewater* (Limbah cair domestik) meliputi: limbah cair dari dapur, kamar mandi, *laundry* dan sejenisnya.



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

- *Sanitary wastewater* meliputi: *domestic wastewater*, komersial, kantor, dan fasilitas sejenisnya.
- *Industrial wastewater* berasal dari industri (sangat bervariasi sesuai dengan jenis industrinya).

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan Air Limbah Kawasan Industri, menurut keputusan gubernur pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Air Limbah Kawasan Industri mempunyai karakteristik dan baku mutu antara lain :

2.2.1 Derajat Keasaman (pH)

pH (*Power of Hydrogen*) menunjukkan adanya konsentrasi ion hidrogen dalam air yang dapat menjelaskan derajat keasaman suatu perairan. Air yang biasanya digunakan untuk minum artinya netral memiliki $\text{pH} = 6-9$. Air dalam kondisi basa memiliki pH air pada rentang 7 – 14. Sedangkan asam akan ada pada rentang pH 0 – 7 (Effendi, 2003).

pH merupakan sebuah parameter kualitas yang penting bagi air baku dan juga air limbah. Ukuran konsentrasi pH yang cocok bagi semua kehidupan biologis bisa dibilang sangat kecil dan kritis yaitu di antara 6 hingga 9. Air limbah dengan pH yang sangat tinggi sulit untuk ditangani secara biologis, dan jika konsentrasi pH tidak dinetralkan sebelum proses pembuangan, hasil olahan limbah kemungkinan bisa merubah konsentrasi pH pada air baku, agar hasil pembuangan dapat ditangani sesuai dengan pH yang berlaku biasanya berukuran antara 6,5 hingga 8,5 (MetCalf & Eddy, 2003).

Baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah dalam batas 6-9 (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013). Kandungan nilai pH pada air limbah kawasan industri adalah 7,1, sehingga sudah memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

2.2.2 Total Suspended Solid (TSS)

Total padatan ada berbagai macam antara lain padatan terendap, padatan tersuspensi dan padatan terlarut. Padatan terendap adalah padatan dalam limbah



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

cair yang mengendap pada dasar dalam waktu 1 jam. Padatan ini biasanya diukur pada kerucut *imhoff* berskala dan dilaporkan sebagai ml padatan terendap per liter. Padatan terendap merupakan indikator jumlah padatan limbah yang akan mengendap pada alat penjernih dan kolam pengendapan (Metcalf & Eddy, 1991).

Padatan tersuspensi merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal dari mineral-mineral misalnya pasir yang sangat halus, silt, lempung, atau berasal dari zat organik asam vulvat 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).

Zat terlarut (*dissolved substances*) yakni semua senyawa yang larut dalam air, dengan ukuran kurang dari beberapa nanometer. Senyawa- senyawa ini umumnya berupa ion positif atau ion negatif. Selain itu juga termasuk gas-gas yang terlarut misalnya oksigen, karbondioksida, *hydrogen sulfide*, dan lain-lain (Nusa Idaman Said, 2017).

Standart buka mutu TSS yang diijinkan adalah 150 mg/lit, yang diatur pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Air Limbah Kawasan Industri. Sedangkan TSS yang dihasilkan pada kawasan industri adalah sebesar 246 mg/lit. Sehingga tidak memenuhi baku mutu.

2.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand atau COD adalah jumlah bahan organik yang ada pada air sungai atau limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan atau larutan asam. 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



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

untuk pengujian BOD. Nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Metcalf & Eddy, 2004).

COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia (Metcalf & Eddy, 1991). Tes COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan cara menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam.

Kandungan COD air limbah kawasan industri adalah 847,2 mg/lit, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan di buang ke lingkungan menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 adalah sebesar 100 mg/lit. Sehingga tidak memenuhi baku mutu.

2.2.4 Dissolved Oxygen (DO)

DO merupakan oksigen terlarut yang digunakan untuk mengukur kualitas kebersihan air. Semakin besar nilai kandungan DO menunjukkan bahwa kualitas air tersebut semakin bagus. Oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) merupakan salah satu parameter mengenai kualitas air. Tersedianya oksigen terlarut didalam air sangat menentukan kehidupan di perairan tersebut (Simanjutak, M. (2007).

Kandungan DO air limbah kawasan industri adalah 2,12 mg/l, Sedangkan Menurut PP Nomor 82 Tahun 2001, baku mutu kandungan DO disungai adalah 6 Mg/L. Sehingga memenuhi baku mutu.

2.3 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*)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

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.

b. Pengolahan Pertama (*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.

c. Pengolahan Kedua (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobik. Pada pengolahan air buangan industri pengolahan minyak bumi menggunakan sistem aerobik yaitu *activated sludge* karena kandungan biologi pada air buangan industri pengolahan minyak sawit cukup banyak seperti BOD, COD karena persen removal *activated sludge* cukup besar untuk meremoval kandungan organik.

d. Pengolahan Ketiga (*Tertiary Treatment*)

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

e. 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*



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

dalam *disposal sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena:

- a. *Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel menimbulkan bau
- b. Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- c. Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung *solid* (0,25% - 12% *solid*).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

- a. Mereduksi kadar lumpur
- b. Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Berdasarkan proses pengolahan, maka pengolahan air buangan di bedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Pengolahan fisik

Bertujuan untuk menghilangkan partikel diskrit yang dapat mengendap dengan sendirinya dan zat yang terapung.

2. Pengolahan kimiawi

Bertujuan untuk menghilangkan partikel koloid baik yang berupa organik maupun anorganik serta partikel tersuspensi.

3. Pengolahan biologis

Bertujuan untuk menstabilkan air buangan dengan memanfaatkan mikroorganisme. Pengolahan biologis ini dapat dibedakan menjadi 3 bagian antara lain, pengolahan aerobik, anaerobik, dan pengolahan fakultatif.

Bangunan pengolahan air buangan mempunyai kelompok tingkat pengolahan antara lain:

2.3.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

A. Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat

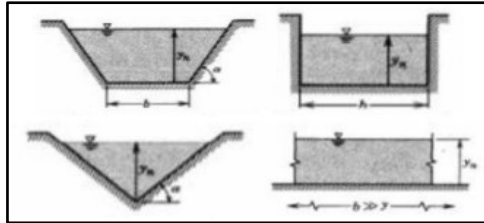


PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

dari dinding berbahan beton. Saluran Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini diatas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m).

1. Saluran terbuka (*open channel flow*)

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.

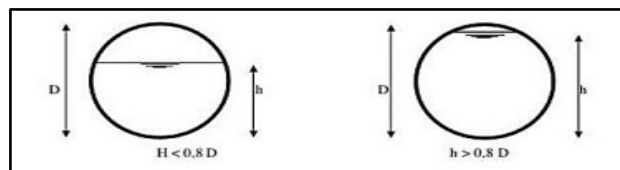


Gambar 2.1 Potongan saluran terbuka

Sumber: (Pritchard 2011)

2. Saluran tertutup (*pipe flow*)

Saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem *sewerage*. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka



Gambar 2.2 Potongan saluran tertutup (pipa)

Sumber: (Pritchard 2011)

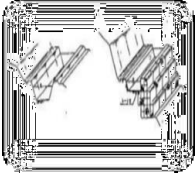
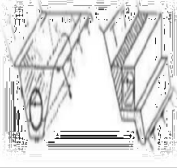
Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi seandainya pada pipa yang alirannya tidak penuh



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie dan Sugiyanto 2002). Untuk mengetahui dimensi saluran maka perlu diketahui kecepatan aliran air saat melewati saluran. Kecepatan yang digunakan dapat disesuaikan dengan kecepatan air saat melewati screen.

Tabel 2.1 Tipe – Tipe Saluran Pembawa

Tipe	Gambar	Keuntungan dan Permasalahannya	Kekhasan Strukturnya
Saluran Pembawa Tipe Terbuka		<p><u>Keuntungan</u></p> <p>Relatif murah dan mudah mengkontruksinya</p> <p><u>Permasalahan</u></p> <p>Kemungkinan aliran sedimen dari lereng di atasnya dan Tingginya tingkat jatuh daun – daunan</p>	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		<p><u>Keuntungan</u></p> <p>Pada umumnya volume pekerjaan tanahnya besar dan Rendahnya rata – rata sedimen dan daun – daunan yang jatuh di saluran</p> <p><u>Permasalahan</u></p> <p>Sulitnya merawat dan meninjau saluran, termasuk pembersihan dan perbaikannya</p>	Tabungnya yang dipendam (hume, PVC, atau FRPM), Box culvert, Pagar saluran dengan tutupnya

Sumber: (Pritchard 2011)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah air limbah dari proses produksi dialirkan menuju bak penampung/ bak ekualisasi melalui saluran pembawa.

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut :

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran (v) = 0,2 – 0,8 m/s
- Kemiringan / Slope maksimal (s_{max}) = 1×10^{-3} m/m
- Freeboard = 5 – 30 % dari ketinggian

Rumus yang digunakan :

1. Luas Permukaan (A)

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

Dengan :

A : Luas Permukaan Saluran Pembawa (m^2)

Q : Debit Limbah (m^3 /detik)

v : Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 19. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc.)

2. Kedalaman Air Dalam Saluran (H)

$$H = \frac{A}{w}$$

Dengan :

H : Ketinggian air di saluran pembawa (m)

A : Luas Permukaan Saluran Pembawa (m^2)

B : lebar saluran pembawa (m)

3. Kedalaman total (H total)

$$H \text{ Total} = H + (Fb \times H)$$

Dengan :

H total : Kedalaman total (m)

Freeboard : kedalaman jika sewaktu-waktu terjadi fluktuasi (m)

4. Luas Penampang Basah

$$A = W \times H$$

Dengan :



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

- A : Luas Penampang basah (m^2)
W : Lebar Saluran (m)
H : Ketinggian air di saluran pembawa (m)

5. Keliling Penampang basah

$$P = W \times 2H$$

Dengan :

- P : Keliling Penampang basah (m)
W : Lebar Saluran (w)
H : Ketinggian air dalam saluran (m)

6. Lebar (W)

$$W = 2 \times H$$

Dengan :

- W : Lebar (m)
H : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

7. Cek Kecepatan (Vcek)

$$V = \frac{Q}{W \times H}$$

Dengan :

- V : Cek kecepatan (m/s)
Q : Debit Air Limbah (m^3 /detik)
W : Lebar (m)
H : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

8. Jari – Jari Hidrolis (R)

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

Dengan :

- R : Jari – Jari Hidrolis (m)
W : Lebar (m)
H : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 19. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc.)

9. Headloss Saluran Pembawa



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

$$H_f = n \times L$$

Dengan:

H_f : Headloss saluran pembawa (m)

N : Koefisien manning

L : Panjang saluran pembawa (m)

10. Slope cek (m)

$$S = \left(\frac{n \cdot v}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

Dengan :

S : Kemiringan (m)

n : Koef Kekasaran Manning

v : Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

R : Jari – Jari Hidrolis (m)

B. *Screening/ Bar Screen*

Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah *screening*. *Screen* merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada *influent* air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya.

Screening atau saringan banyak diletakkan di saluran masuk dari sungai, danau, waduk untuk instalasi pengolahan air, dan sumur tempat pembuangan atau penampung untuk instalasi pengolahan air limbah. *Screening* atau *bar screen* juga diletakkan sebelum pompa di stasiun pemompaan air hujan dan air limbah. Unit ini berfungsi untuk menghilangkan kotoran kasar (seperti potongan kain, padatan, dan ranting), yang mungkin merusak pompa atau menyumbat pipa dan saluran hilir (Droste, 1997).

Aliran air yang berada pada saluran pembawa akan melewati unit *Screen*. *Screening* biasanya terdiri-dari batang paralel, kawat atau *grating*, *perforated plate* dan umumnya memiliki bukaan yang berbentuk bulat atau persegi empat. Secara umum peralatan screen terbagi menjadi dua tipe yaitu screen kasar dan



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

screen halus. Dan cara pembersihannya ada dua cara yaitu secara manual dan mekanis. Perbedaan screen kasar dan halus adalah pada jauh dekatnya jarak antar *bar screen* (MetCalf & Eddy, 2003).

Dalam pengolahan air limbah, penyaring kasar digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh sampah yang berukuran 6 - 150 mm. Pembersihan penyaring kasar dapat secara manual dengan memanfaatkan tenaga manusia atau dengan mekanis. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industri kecil ataupun sedang. *Screening* dengan pembersihan secara mekanik, bahannya terbuat dari plastik atau *stainless steel*. Contoh *coarse screen* ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.3 *Coarse Screen* dengan Pembersihan secara Manual

Sumber:

<https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558166/ScreeningSeaving.pdf/42161389-3030-c805-d99c-5a44fd739558>

Prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan:

- 1) Kerusakan pada alat pengolahan,
- 2) Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
- 3) Kontaminasi pada aliran air.

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe *screen*, di antaranya *coarse screen*, *fine screen*, dan *microscreen*. *Screen* biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. *Screen* pada umumnya terbuat dari batangan logam,



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan *perforated plate* dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi (Metcalf dan Eddy 2014).

Prinsip yang digunakan 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, 2003).

Berikut merupakan tipe-tipe dari *screening* :

a. *Coarse Screen* (Penyaringan Kasar)

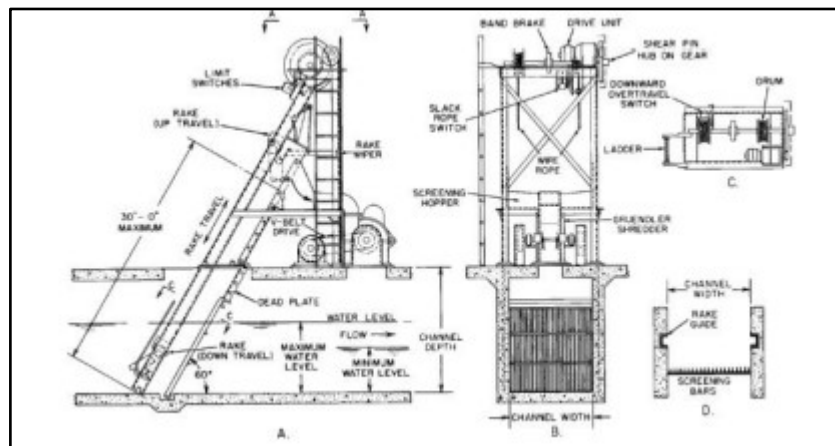
Screen ini berbentuk seperti batangan paralel yang biasa dikenal dengan *bar screen*. *Screen* ini berfungsi untuk menyaring padatan kasar yang berukuran antara 6 – 150 mm, seperti ranting kayu, kain, dan sampah–sampah lainnya. Dalam pengolahan air limbah, *screen* ini digunakan untuk melindungi pompa, *valve*, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda – benda tersebut. Dalam proses pembersihannya, *bar screen* terbagi menjadi dua, yaitu secara manual maupun mekanik. Pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin (Metcalf & Eddy, 2003).

Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6 - 150 mm (0,25 - 6 inch). Dalam pengolahan air limbah, *screen* ini digunakan untuk melindungi pompa, *valve*, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Menurut metode pembersihannya saringan kasar dibedakan menjadi 2, yaitu secara manual dan mekanik, dimana desain pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada suatu industri yang kecil atau sedang. Prinsip yang digunakan bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0,3 - 0,6 m/s 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. *Bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 30° - 45° terhadap horizontal.



Gambar 2.4 Pembersihan *Bar Screen* Secara Manual

Sumber : (Qasim 1999)

Pembersihan secara mekanik biasanya menggunakan bahan-bahan yang terbuat dari *stainless steel* dan plastik. Adapun tipenya adalah sebagai berikut:

- *Chain driven*
- *Reciprocating rake*
- *Catenary*
- *Continuous belt*

Adapun kriteria perancangan untuk mendesain *coarse screen* baik dengan membersihkan secara manual maupun mekanis adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kriteria Perancangan Saringan Kasar (*Coarse Screen*)

Parameter	U.S Customary Units			SI Unit		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanikal	Unit	Manual	Mekanikal
Ukuran batang						
Lebar	inch	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	mm	5 - 15	5 - 15
Kedalaman	inch	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	mm	25 - 38	25 - 38



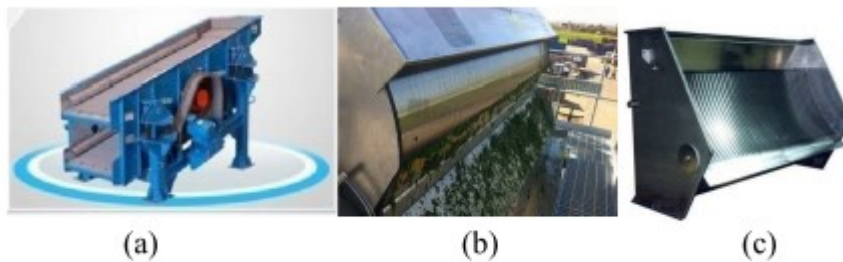
PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Jarak antar batang	inch	1,0 – 2,0	0,6 – 0,3	mm	25 – 50	15 - 75
Kemiringan terhadap vertikal	o	30 - 45	0 - 30	mm	30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
Maksimal	Ft/s	1,0 – 2,0	2,0 – 3,25	m/s	0,3 – 0,6	0,6 – 1,0
Minimal	Ft/s	-	1,0 – 1,6	m/s	-	0,3 – 0,5
Headloss	inch	6		mm	150	150 – 600

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

b. *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. (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*. Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre-Treatment*) adalah seperti ayakan kawat (*static wedge wire*), 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.



Gambar 2.5 (a) *Inclined Screen*, (b) *Rotary Drum Screen*, (c) *Fixed Parabolic Screen*

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

Screen tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS. **Tabel 2.3** merupakan kemampuan penyisihan oleh fine screen (Metcalf & Eddy, 2003).



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Tabel 2.3 Persen Removal *Fine Screen*

Jenis Screen	Luas Permukaan		% Removal	
	inch	mm	BOD (%)	TSS (%)
Fixed Prabolic	0,0625	1,6	5 - 20	5 - 30
Rotary Drum	0,01	0,25	25 - 50	25 - 45

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

Tabel 2.4 Macam-Macam Fine Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		inch	mm		
Miring	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless steel	Pengolahan Primer
Drum (berputar)	Kasar	0,1 - 0,2	2,5 - 5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless steel	Pengolahan pendahuluan
	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5		Pengolahan Primer
	Halus		6 - 35 μ m	Stainless steel dan Polyester	Meremoval residual TSS
Horizontal (Reciprocating)	Sedang	0,06 - 0,17	1,6 - 4	Batangan Stainless steel	Gabungan dengan saluran air
Tangential	Halus	0,0475	1200 μ m	Jala yang terbuat dari Stainless steel	Gabungan dengan saluran pembawa

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

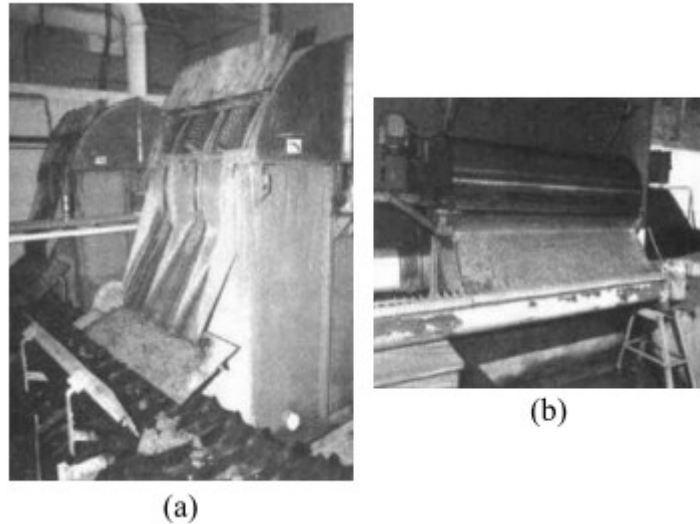
c. Microscreen

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat atau material yang mengapung, alga yang berukuran kurang dari 0,5 μ m. 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.



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Untuk *bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60 derajat terhadap horizontal (Metcalf dan Eddy 2003). Microscreen terbagi menjadi beberapa jenis, antara lain *disk type with stainless-steel fabric* dan *drum type with wedge wire screen* yang dapat dilihat pada **Gambar 2.6**



Gambar 2.6 Tipe Microscreen; (a) *Disk Type With Stainless-Steel Fabric* ;
(b) *Drum Type With Wedge Wire Screen*

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

Rumus yang digunakan

1. Jumlah Batang/kisi

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

Dengan:

Ws : Lebar saluran (m)

n : Jumlah kisi

d : Lebar kisi (m)

r : Jarak antar kisi (m)

2. Lebar Bukaan Kisi

$$Wc = Ws - n \cdot d$$

Dengan:

Wc : Lebar bukaan kisi (m)

Ws : Lebar saluran (m)

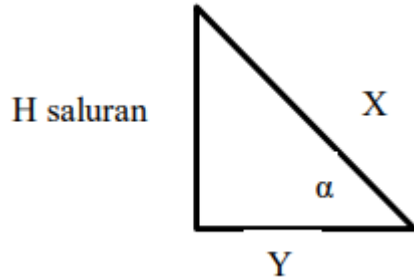


PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

n : Jumlah kisi

d : Lebar kisi (m) Area terbuka

3. Panjang Kisi Miring (X)



$$X = \frac{H \text{ total}}{\sin \alpha}$$

Dengan:

X : Panjang kisi (m)

Sin α : Kemiringan screen

H : Kedalaman total saluran pembawa = tinggi screen (m)

4. Lebar Screen (Y)

$$Y = X \cdot \cos \alpha$$

Dengan:

x : Panjang kisi (m)

cos α : Kemiringan screen

Y : lebar screen (m)

5. Kecepatan setelah melewati kisi

$$v_i = \frac{Q}{Wc \times H \text{ air}}$$

Dengan:

v_i : Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

Q : Debit limbah (m³/s)

Wc : Lebar bukaan kisi (m)

H : Kedalaman saluran pembawa = tinggi screen (m)

6. Headloss saat *clean screen* (*Non Clogging*)

$$H_f = \frac{1}{c} \left(\frac{v_i^2 - v^2}{2g} \right)$$



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Dengan:

H_f : Headloss saat *clean screen*

C : Koefisien discharge (0,7 untuk *clean screen*)

v_i^2 : Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

v^2 : kecepatan (m/s)

g : gravitasi = 9,81 m/s²

7. Headloss saat tersumbat atau *Clogged Screen (Clogging)*

$$H_{fc} = \frac{1}{C_c} \left(\frac{v_c^2 - v_i^2}{2g} \right)$$

Dengan:

H_{fc} : Headloss saat *clogged screen*

C_c : Koefisien discharge (0,6 untuk *clogged screen*)

v_c^2 : Kecepatan penggelontoran (m/s)

Kecepatan melalui bar screen tersumbat diestimasi meningkat 50%

v_i^2 : Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

g : gravitasi = 9,81 m/s²

8. Kecepatan saat penggelontoran

$$V_c = \frac{Q}{50\% \times W_c \times H_{air}}$$

Keterangan:

Q : Debit limbah (m³ /s)

Kecepatan melalui bar screen tersumbat diestimasi meningkat 50%

W_c : Lebar bukaan kisi (m)

H_{air} : Kedalaman muka air saluran pembawa (m)

(Sumber : Metcalf & Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, hal. 321)

C. Bak Penampung

Tujuan dari menampung air limbah di bak penampung yakni untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah yang diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya. Cara kerja daripada bak penampung ini adalah, ketika air limbah yang keluar dari



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

proses produksi, maka selanjutnya air limbah dialirkan ke bak penampung. Disini debit air limbah diatur. Agar dapat memenuhi kriteria perencanaan untuk unit bangunan selanjutnya.



Gambar 2.7 Bak Penampung

Sumber : <https://tirto.id/sumber-air-baku-pdam-belitung-tercemar-limbah-tambang-ggQm>

Rumus yang digunakan

1. Volume Bak Penampung

$$V = Q \times Td$$

Dengan :

V : Volume bak penampung (m³)

Q : Debit limbah (m³/s)

td : Waktu detensi (s)

2. Dimensi Bak Penampung

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

Dengan :

V : Volume bak penampung (m³)

P : Panjang bak penampung (m)

L : Lebar bak penampung (m)

H : Kedalaman bak penampung (m)

3. Kedalaman Total

$$H_{total} = H + Fb$$

Dengan:

H total : kedalaman bak (m)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

- H : Ketinggian air dalam bak penampung (m)
Fb : freeboard, 5 – 30%

4. Jari – jari Hidrolis

$$R = \frac{\text{Luas Keliling Basah}}{\text{Keliling Penampang Basah}}$$

2.3.2 Pengolahan Pertama (*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.

A. Bak Ekualisasi



Gambar 2.8 Bak Ekualisasi

Sumber: <https://images.app.goo.gl/aspjjdbjSnyUU9st7>

Kualitas dan kuantitas air limbah yang dihasilkan suatu industri bervariasi setiap waktunya, hal ini dapat mempengaruhi perancangan instalasi, kebutuhan bangunan, mesin, lahan, biaya operasional, dan kualitas hasil pengolahan. Dengan itu, untuk mengatasi hal ini dibutuhkan suatu unit operasi equalisasi. Equalisasi berfungsi untuk penyeragaman kondisi air limbah, dan pengendalian aliran. Dalam bak equalisasi dapat dilakukan proses pengadukan untuk menjaga homogenitas, injeksi udara yang bertujuan agar limbah tidak bersifat septik /anaerobik. Kemiringan atau *slope* bak equalisasi pada umumnya menggunakan perbandingan 3 : 1 atau 2 : 1. Pembangunan bak equalisasi di beberapa industri



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

biasanya dibangun dalam bentuk persegi panjang/*rectangular* dengan kedalaman 1.5 - 2 meter.

Tujuan dari ekualisasi adalah untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi karakteristik air limbah untuk memberikan kondisi yang optimal untuk proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan jenis bak ekualisasi bervariasi dengan jumlah sampah dan variabilitas aliran air limbah. Wadah harus memiliki ukuran yang cukup untuk menyerap fluktuasi limbah yang disebabkan oleh variasi dalam penjadwalan produksi pabrik dan untuk meredam *batch* terkonsentrasi yang dibuang atau tumpah secara berkala ke saluran pembuangan. Bak ekualisasi biasanya disediakan untuk memastikan pemerataan yang memadai dan untuk mencegah padatan yang dapat mengendap dari pengendapan di cekungan. Tujuan penggunaan bak ekualisasi untuk fasilitas pengolahan industri menurut (Droste, 1997) yaitu:

- a. Untuk memberikan peredaman fluktuasi organik yang memadai untuk mencegah *shock loading* atau pembebanan kejut pada sistem biologis.
- b. Untuk memberikan kontrol pH yang memadai atau untuk meminimalkan persyaratan kimia yang diperlukan untuk netralisasi.
- c. Untuk meminimalkan lonjakan aliran ke sistem pengolahan fisik-kimia dan memungkinkan laju umpan kimia yang kompatibel dengan peralatan makan.
- d. Untuk memberikan pakan terus menerus ke sistem biologis selama periode ketika pabrik tidak beroperasi.
- e. Menyediakan kapasitas untuk pembuangan limbah yang terkontrol ke sistem kota untuk mendistribusikan beban limbah lebih merata.
- f. Untuk mencegah konsentrasi tinggi bahan beracun memasuki pabrik pengolahan biologis.

Seperti yang disebutkan di atas bak ekualisasi sangat efisien karena di dalam proses pengoperasiannya bisa mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia yang dibutuhkan dalam unit netralisasi. Adapun *grit chamber* yang dirancang untuk meremoval pasir, kerikil dan bahan - bahan kasar lainnya yang



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

mempunyai berat gravitasi relatif tinggi, sehingga partikel - partikel tersebut dapat mengendap dengan sendirinya.

Grit Chamber dalam pengolahan air limbah diletakkan setelah *bar screen* dan sebelum bak pengendap pertama. Dimana fungsi dari bak pengendap pertama adalah menghilangkan bahan - bahan organik. Adanya *screen* di depan *grit chamber* akan membuat proses dan perawatan *grit chamber* semakin mudah. Dalam merancang unit pengolahan limbah cair sebaiknya salah satu unit yang fungsinya sama bisa dihilangkan agar industri bisa meminimasi biaya yang akan dikeluarkan dalam pengoperasian maupun pemeliharaan dan lahan yang akan digunakan nantinya.

Pencampuran selalu diberikan pada proses equalisasi dan untuk mencegah pengendapan zat padat pada dasar bak. Pada proses pencampuran, oksidasi dapat mengurangi bahan organik atau BOD oleh udara dalam air limbah dari proses pencampuran dan aerasi. Metode yang digunakan pada proses pencampuran antara lain :

1. *Distribution of inlet flow and baffle*
2. *Turbine mixing*
3. *Diffused Air Aeration*
4. *Mechanical Aeration*

Tabel 2.5 Data Kriteria Desain Bak Ekualisasi

Bagian – bagian	Besaran (satuan)	Sumber
Kedalaman air minimum	1,5 - 2 m	Metcalf & Eddy, 2004
Kemiringan dasar bak	40 - 100 mm/m diameter	Qasim, 1985

Volume bak equalisasi dapat dihitung menggunakan 2 pendekatan, yaitu berdasarkan pola debit harian (*flow balance*) dan berdasarkan pola beban massa untuk polutan tertentu (*composition balance*). *Flow balance* digunakan saat komposisi air limbah masuk relative konstan namun debit air limbah berfluktuasi seiring dengan waktu. Sedangkan *composition balance* berlaku sebaliknya. Metode *flow balance* adalah yang paling sering digunakan dengan menggunakan diagram Rippl dimana volume kumulatif di plotkan terhadap waktu.



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Bak ekualisasi di desain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak ekualisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2004). Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut.

Rumus yang digunakan :

1. Volume Bak Ekualisasi

$$V = Q \times t_d$$

Dengan :

V : Volume bak ekualisasi (m³)

Q : Debit (m³/detik)

Td : Waktu detensi (detik)

2. Dimensi bak ekualisasi

$$V = L \times B \times H$$

Dengan :

V : Volume bak ekualisasi (m³)

L : Panjang bak ekualisasi (m)

B : Lebar bak ekualisasi (m)

H : Tinggi bak ekualisasi (m)

3. Kedalaman Total

$$H_{\text{Total}} = H + F_b$$

Dengan :

H total : Kedalaman total (m)

H : Ketinggian Air dalam bak ekualisasi (m)

Fb : Freeboard 5% – 30%

Apabila dalam bak ekualisasi terjadi penghomogenan debit limbah, maka diperlukan sistem pengadukan, dapat menggunakan sistem aerasi. Untuk menghitung daya blower yang digunakan rumus sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2004)

4. Daya Blower

$$\text{Daya Blower (Pw)} = \frac{w \times R \times T_1}{550 \times n \times e} \times \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^n - 1$$



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Dengan :

w : Berat aliran udara

R : Konstanta gas universal untuk udara (J/mole.K (SI units) atau ft.lb/(lb air).°R (US unit))

T1 : Temperatur absolut inlet = 20 °C = 16 °R

P2 : Tekanan absolut outlet

P1 : Tekanan absolut inlet

n untuk single stage centrifugal blower : 0,283

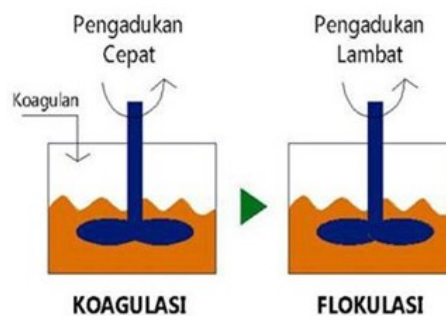
Faktor konversi ft.lb/s ke hp : 550

Efisiensi (E) : 0,7 – 0,9

(Sumber : Metcalf & Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, hal. 441)

B. Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi dan Flokulasi adalah proses pembentukan flok dengan penambahan pereaksi kimia ke dalam air baku atau air limbah supaya menyatu dengan partikel tersuspensi sehingga terbentuk flok yang nantinya akan mengendap. Koagulasi adalah proses pengadukan cepat dengan penambahan koagulan, hasil yang didapat dari proses ini adalah destabilisasi koloid dan *suspended solid*, proses ini adalah awal pembentukan partikel yang stabil. Flokulasi adalah pengadukan lambat untuk membuat kumpulan partikel yang sudah stabil berkumpul dan mengendap pada bak sedimentasi (Reynolds, 1996, hal. 166).



Gambar 2.9 Koagulasi dan Flokulasi

Sumber : <https://www.temukanpengertian.com/2015/05/pengertian-metode-desinfeksi.html>



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Ketika memasuki proses koagulasi, terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & Assomadi, 2016). Bila koagulan ditambahkan ke dalam air, reaksi yang terjadi antara lain:

- Pengurangan zeta potensial (potensial elektrostatis) hingga suatu titik dimana gaya van der Waals dan agitasi yang diberikan menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung serta membentuk flok;
- Agregasi partikel melalui rangkaian inter partikulat antara grup-grup reaktif pada koloid;
- Penangkapan partikel koloid negatif oleh flok-flok hidroksida yang mengendap.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi antara lain:

- Kualitas air meliputi gas-gas terlarut, warna, kekeruhan, rasa, bau, dan kesadahan;
- Jumlah dan karakteristik koloid;
- Derajat keasaman air (pH);
- Pengadukan cepat, dan kecepatan paddle;
- Temperatur air;
- Alkalinitas air, bila terlalu rendah ditambah dengan pembubuhan kapur;
- Karakteristik ion-ion dalam air.

Koagulan merupakan bahan kimia yang dibutuhkan untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya (secara gravitasi). Kekeruhan dan warna dapat dihilangkan melalui penambahan koagulan atau sejenis bahan-bahan kimia antara lain. (Metcalf &

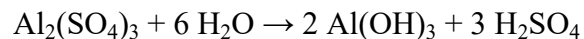


PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Eddy, 2004). Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah sebagai berikut :

1. Koagulan Aluminium Sulfat (Alum) – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$

Aluminium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan ini biasanya disebut tawas, bahan ini dipakai karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Koagulan ini membutuhkan kehadiran alkalinitas dalam air untuk membentuk flok. Dalam reaksi koagulasi, flok alum dituliskan sebagai $\text{Al}(\text{OH})_3$. Mekanisme koagulasi ditentukan oleh pH, konsentrasi koagulan dan konsentrasi koloid. Koagulan dapat menurunkan pH dan alkalinitas karbonat. Rentang pH agar koagulasi dapat berjalan dengan baik antara 4,5 – 7 (Eckenfelder, 2000). Adapun reaksi dasarnya adalah sebagai berikut.



2. Koagulan Ferric Chloride ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Dalam pengolahan air penggunaannya terbatas karena bersifat korosif dan tidak tahan untuk penyimpanan yang terlalu lama.

3. Koagulan Ferrous Sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

Dikenal sebagai Copperas, bentuk umumnya adalah granular. Ferrous Sulfate dan lime sangat efektif untuk proses penjernihan air dengan pH tinggi ($\text{pH} > 10$)

4. Koagulan Chlorinated Copperas ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$), $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Dibuat dengan menambahkan klorin untuk mengoksidasi Ferrous Sulfate. Keuntungan penggunaan koagulan ini adalah dapat bekerja pada jangkauan pH 4,8 hingga 11.

5. Koagulan Sodium Aluminate (NaAlO_2)

Digunakan dalam kondisi khusus karena harganya yang relatif mahal. Biasanya digunakan sebagai koagulan sekunder untuk menghilangkan warna dan dalam proses pelunasan air dengan lime soda ash



6. Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC)

Polimer aluminium merupakan jenis baru sebagai hasil riset dan pengembangan teknologi air sebagai dasarnya adalah aluminium yang berhubungan dengan unsur lain membentuk unit berulang dalam suatu ikatan rantai molekul yang cukup panjang, pada PAC unit berulangnya adalah Al-OH.

PAC menggabungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel-partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung efisien. Namun terdapat kendala dalam menggunakan PAC sebagai koagulan aids yaitu perlu pengarahan dalam pemakaiannya karena bersifat higroskopis.

Pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan pada proses koagulasi dan flokulasi. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Berikut ini adalah penjelasannya :

1. Pengadukan cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Masduqi & Assomadi, 2016). Waktu pengadukan cepat dari 20-60 detik, dengan gradien kecepatan 700- 1000/s. Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan baffle basins (Reynolds & Richards, 1996).

2. Pengadukan lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar (Masduqi & Assomadi, 2016). Waktu pengadukan cepat dari 15- 30 menit, dengan gradien kecepatan 20-70/s. Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik dan pengadukan hidrolis (Reynolds & Richards, 1996).

Berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis. Berikut ini adalah penjelasannya:

1. Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metoda pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam impeller, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling- baling).

1. Paddle impeller

Paddle impeller biasanya memiliki dua atau empat blades. Blades dapat berbentuk pitch atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter paddle impeller biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar paddle biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak paddle yaitu 50% dari diameter di atas dasar tangki. Kecepatan paddle berkisar antara 20- 150 rpm. Paddle impeller tidak seefisien turbin, karena tidak menghasilkan banyak turbulensi dan gaya geser (Reynolds & Richards, 1996).

2. Propeller impeller

Propeller impeller memiliki dua atau tiga blades. Pitch didefinisikan sebagai jarak cairan bergerak secara aksial selama satu revolusi. Biasanya pitch adalah 1,0 atau 2,0 dan diameter propeller maksimum 18 inchi. Kecepatan propeller biasanya 400 – 1750 rpm. Agitator propeller sangat efektif dalam tangki besar, karena kecepatan tinggi (Reynolds & Richards, 1996).

Power yang dihasilkan dari berbagai impeller dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan yang di kembangkan oleh Rushton. Daya tangki tidak sama, sesuai dengan nilai konstanta impeller, KT dan KL.

Tabel 2.6 Konstanta KT dan KL

Jenis Impeller	KT	KL
<i>Propeller, pitch of 1, 3 blades</i>	41,0	0,32
<i>Propeller, pitch of 2, 3 blades</i>	43,5	1,00

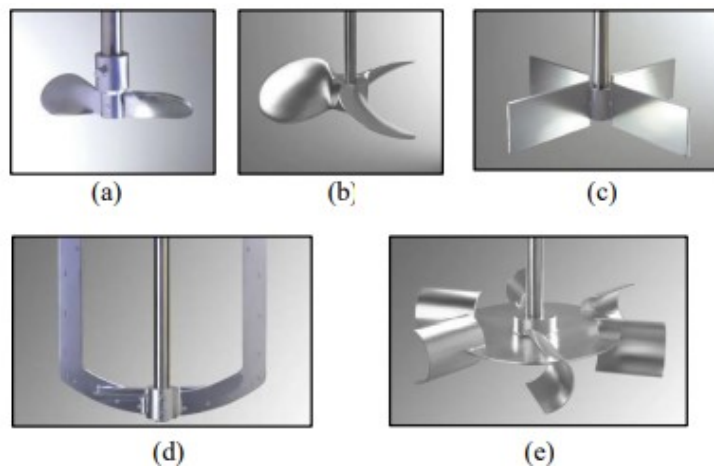


PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	60,0	5,31
<i>Turbine, 6 flat blades, vaned disc</i>	65,0	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70,0	4,80
<i>Fan turbine, 6 blades at 45°</i>	70,0	1,65
<i>Shroude turbine, 6 curved blades</i>	97,5	1,08
<i>Shroude turbine, eith stator, no baffles</i>	172,5	1,12
<i>Flat paddles, 2 blades (single paddle), $Di/Wi = 4$</i>	43,0	2,25
<i>Flats paddles, 2 blades, $Di/Wi = 6$</i>	36,5	1,70
<i>Flats paddles, 2 blades, $Di/Wi = 8$</i>	33,0	1,15
<i>Flats paddles, 4 blades, $Di/Wi = 6$</i>	49,0	2,75
<i>Flats paddles, 6 blades, $Di/Wi = 8$</i>	71,0	3,82

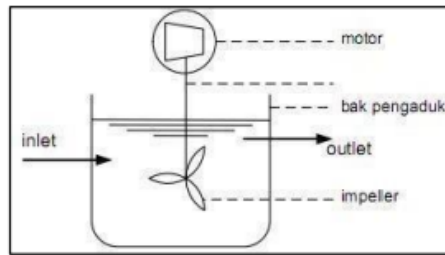
(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:188))

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan td . Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II, dan G di kompartemen III yang paling kecil. Pengadukan mekanis umumnya digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi hingga membentuk roda (paddle wheel), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



Gambar 2.10 (a) 2 blade impeller (b) 3 blade impeller (c) 4 blade impeller
(d) Anchor Type Impeller (e) Agitator Impeller

Sumber: <https://www.directindustry.com/prod/lightnin/product-24564-59977.html>



Gambar 2.11 Pengadukan Cepat dengan Pengadukan Mekanis

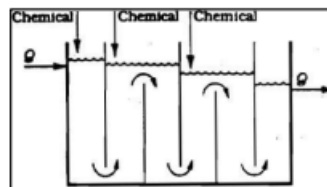
Sumber: (Masduqi & Assomadi, 2016)

2. Pengadukan Hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolis yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolis. Energi hidrolis dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolis dalam suatu aliran.

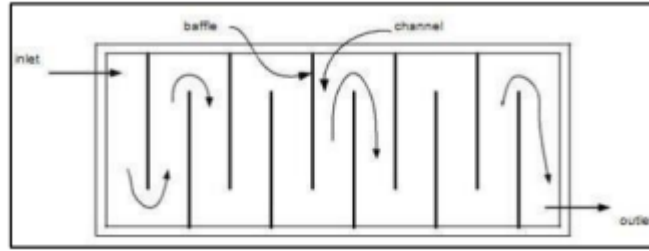
Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (headloss) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolis, dan parshall flume.

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat/baffle channel, perforated wall, gravel bed dan sebagainya (Reynolds & Richards, 1996).



Gambar 2.12 Baffle Basin Rapid Mixing

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996)



Gambar 2.13 Baffle Channel untuk Pengadukan Lambat

Sumber: (Masduqi & Assomadi, 2016)

3. Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.

Kriteria Perencanaan:

Waktu tinggal di dalam bak (td) = 20 – 60 s

Gradien kecepatan (G) = 700 – 1000 / s

(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 182*)

Diameter paddle (Di) = 50 – 80% diameter bak

Lebar paddle (Wi) = 1/6 – 1/10 diameter paddle

Kecepatan putaran paddle (n) = 20 -150 rpm

(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 185*)

Kedalaman bak (H) = 1 – 1,25 diameter

Jarak paddle dari dasar = 30-50% Di

(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 184*)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Reynold number (NRE) = >10.000

(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 187*)

Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bak Pembubuh Koagulan

1. Kebutuhan Koagulan Harian

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{Dosis Koagulan} \times Q$$

Dengan :

Kebutuhan koagulan : Jumlah koagulan dibutuhkan (kg/hari)

Dosis koagulan : Dosis optimum koagulan (mg/L)

Q : Debit air limbah (m³ /s)

2. Debit koagulan per hari

$$Q \text{ Koagulan} = \frac{\text{Kebutuhan koagulan}}{\rho \text{ Koagulan}} \times Td$$

Dengan :

Q koagulan : Debit koagulan (L/hari)

Kebutuhan koagulan : Jumlah koagulan dibutuhkan perhari (kg/hari)

ρ koagulan : Massa jenis koagulan (kg/L)

td : Periode / lama pelarutan (hari)

3. Debit air pelarut

$$Q \text{ pelarut} = \frac{100 - \% \text{ Pelarutan}}{\% \text{ Pelarutan}} \times Q \text{ Koagulan}$$

Dengan :

Q air pelarut : Air yang dibutuhkan melarutkan koagulan (m³ /hari)

Kadar air pelarut : Persen kandungan air dalam larutan

Q koagulan : Debit koagulan per hari (m³ /hari)

4. Total debit tangki pembubuh

$$Q \text{ Total} = Q \text{ Koagulan} + Q \text{ air pelarut}$$

Dengan:

Q koagulan : Volume koagulan per hari (m³ /hari)

Q pelarut : Volume air pelarut per hari (m³ /hari)

5. Volume tangki pembubuh (pembubuhan dilakukan 1 hari)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

$$V = Q \text{ total} \times Td$$

Dengan:

Q total : Debit total tangki pembubuh (m^3 /hari)

td : Periode / lama pelarutan (hari)

6. Kedalaman air pada bak pembubuh

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

Dengan :

V : Volume tangki pembubuh (m^3)

D : Diameter tangki pembubuh (m)

H air : Kedalaman air dalam bak pembubuh (m)

7. Supply tenaga ke air/ daya pengaduk

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

Dengan :

P : Supply tenaga ke air (Watt)

G : Gradien kecepatan (L/s)

μ : Viskositas absolut ($N.s/m^2$)

V : Volume bak pembubuh (m^3)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards, Paul A.. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 187. Boston: PWS Publishing Company)

8. Diameter impeller

$$Di = \left(\frac{P}{KT \times \eta^3 \times \rho} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Dengan :

P : Supply tenaga ke air (Watt)

KT : Konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

η : Kecepatan putaran (rps)

ρ : Massa jenis air (kg/m^3)

9. Jarak impeller dengan dasar (Hi)

$$Hi = \% \times Di$$



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Dengan :

Hi : Jarak impeller dengan dasar (m)

Di : Diameter impeller % = Persentase diameter (30 – 50% Di)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 184. Boston: PWS Publishing Company)

10. Cek diameter impeller

$$\text{Cek D} = \frac{D \text{ Impeller}}{D \text{ Tangki}} \times 100 \%$$

Dengan :

D impeller : Diameter impeller tangki (m)

D tangki : Diameter tangki (m)

Cek D harus memenuhi range 30-50%

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 185. Boston: PWS Publishing Company).

11. Lebar Impeller

$$W_i = \frac{1}{x} \times D \text{ Tangki}$$

Dengan :

Wi : Lebar impeller (m)

D tangki : Diameter tangki (m)

Lebar impeller : 1/6 – 1/10

12. Cek bilangan Reynold

$$Nre = \frac{D_i^2 \times n \times \rho \text{ air}}{\mu}$$

Dengan:

Nre : bilangan Reynold

Di : Diameter impeller/pengaduk (m)

Ω : Kecepatan putaran (rps)

ρ : Massa jenis air (kg/m³)

μ : Viskositas absolut (N.s/m²)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

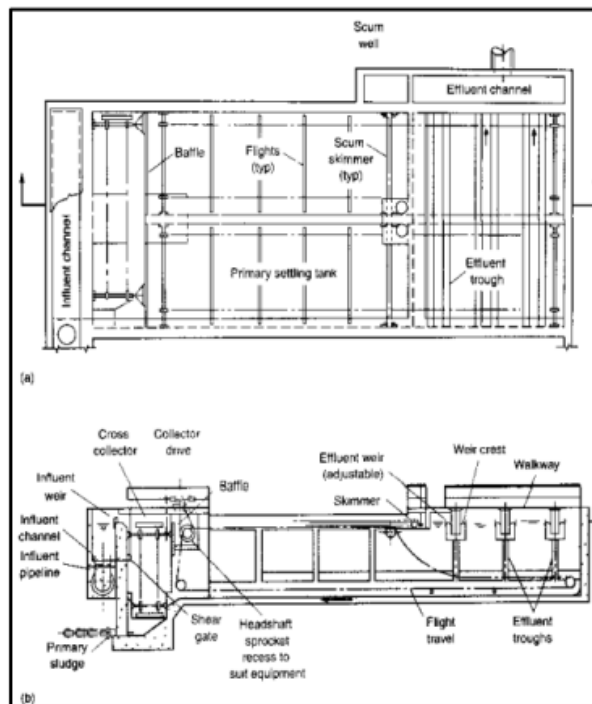
Bilangan Reynold dalam pengadukan cepat = $N_{re} > 10000$ Turbulen

Bilangan Reynold dalam pengadukan cepat lambat = $N_{re} < 2000$ Laminer

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 187. Boston: PWS Publishing Company)

C. Sedimentasi (Bak Pengendap 1)

Tujuan dari pengolahan dengan sedimentasi adalah untuk menghilangkan padatan yang mudah mengendap dan material yang mengapung, sehingga dapat mengurangi kandungan padatan tersuspensi. Sedimentasi primer digunakan sebagai langkah awal dalam pengolahan lebih lanjut air limbah. Sedimentasi yang dirancang dan dioperasikan secara efisien harus menghilangkan 50 hingga 70 persen padatan tersuspensi dan dari 25 hingga 40 persen BOD (Metcalf & Eddy, 2004).



Gambar 2.14 Bak Sedimentasi (a) denah (b) potongan

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2004)

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona :

1. Zona Inlet



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)

2. Zona Outlet

Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

3. Zona Settling

Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya

4. Zona Sludge

Kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.

Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan Koagulasi – Flokulasi (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2016). Kecepatan pengendapan tidak dapat ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besar partikel yang diuji dengan coloumn settling test dan withdrawal ports pada waktu tertentu akan menghasilkan data removal sehingga akan didapat grafik isoremoval. Efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

1. Aliran air
2. Suhu udara permukaan
3. Suhu air yang mempengaruhi kekentalan zat
4. Suhu terstratifikasi dari iklim
5. Bilangan Eddy

Effisiensi removal dari bak pengendap pertama ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Unit pengolahan bak pengendap awal 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. Skimmer yang ada pada bak pengendap I digunakan untuk tempat pelimpah minyak dan lemak yang mengambang.

Bak pengendap I memiliki beberapa jenis desain, yaitu:



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

1. Rectangular

Karena distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003):

- a) Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan
- b) Saluran inlet dengan port dan orifice
- c) Saluran inlet dengan lebar bukaan dan slotted baffles

• Circular

Pada tangki sirkular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur sirkular yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumur biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1-2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial (Metcalf & Eddy, 2003).

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, 2003).

Pada umumnya aliran air pada sedimentasi mempunyai sistem up-flow yaitu air mengalir dari bawah keatas secara vertical menuju ke tempat pengeluaran yang ada diatas. Partikel mengendap ke bawah kearah yang berlawanan arah dengan aliran air. Dalam prosesnya, partikel diwajibkan memiliki kecepatan pengendapan yang lebih besar dari pada laju pelimpahan agar partikel mengendap dan dapat dipisahkan.

Tabel 2.7 Kriteria Desain Bak Pengendap

Item	<i>U.S Costomary Units</i>			<i>SI Units</i>		
	Unit	Rentang	<i>Typical</i>	Unit	Rentang	<i>Typical</i>
<i>Primary Sedimentation Tanks Followed by Secondary Treatment</i>						
Waktu Tinggal	Jam	1,2 – 1,2	2	Jam	1,5 – 2,5	2
Kecepatan Alir						
Rata- rata	gal/ft ² s	800-1200	1000	m ³ /m ² s	30 – 50	40



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

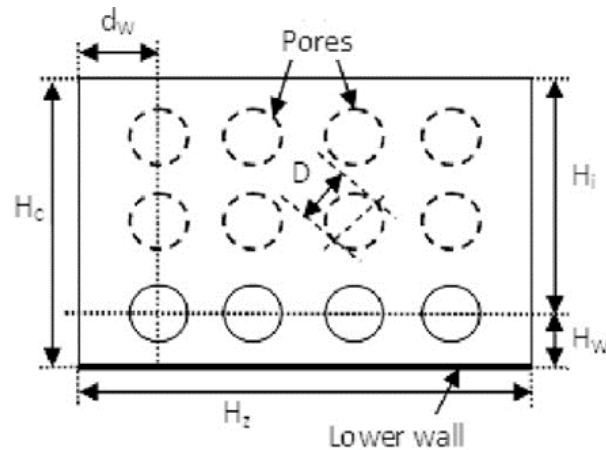
Puncak	gal/ft ² s	2.000-3.000	2500	m ³ /m ² s	80 – 120	100
Weir Loading	gal/ft ² s	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² s	125 – 500	250
Primary Settling with waste Activated Sludge Return						
Waktu Tinggal	Jam	1,5 – 2,5	2	Jam	1,5 – 2,5	2
Kecepatan Alir						
Rata- rata	gal/ft ² s	600-800	1000	m ³ /m ² s	24-32	28
Puncak	gal/ft ² s	1.200-1.700	1500	m ³ /m ² s	48-70	60
Weir Loading	gal/ft ² s	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² s	125-500	250
Persegi Panjang						
Kedalaman	feet	10 - 16	14	m	3 – 4,9	4,3
Panjang	feet	50 -300	80 - 130	m	15 – 90	24 – 40
Lebar	feet	10 - 80	16 - 32	m	3 – 24	4,9–9,8
<i>Flight speed</i>	ft/min	2 - 4	3	m/min	0,6 – 1,2	0,9
Lingkaran						
Kedalaman	feet	0 – 16	14	m	3 – 4,9	4,3
Diameter	feet	10 – 200	40 – 150	m	3 – 60	12 – 45
Kemiringan dasar	In/ft	0,75 – 2	1	mm/mm	1/16 – 1/6	1/12
<i>Flight Speed</i>	r/min	0,02 – 0,05	0,03	r/min	0,02–0,05	0,03

sumber: Metcalf & Eddy, 2003

Bak sedimentasi bentuk rectangular terbagi menjadi empat zona, yaitu :

A. 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, Perforated baffle merupakan modifikasi dari baffle yang memiliki lubang - lubang pada dindingnya. Adanya lubang - lubang dengan ukuran seragam pada dinding baffle menyebabkan terjadinya perataan aliran, sehingga dapat meminimalisasi terjadinya dead zone. Sketsa perforated baffle dapat dilihat pada Gambar 2.15 dibawah ini :



Gambar 2.15 Sketsa Perforated Baffle

(Sumber : Fair dkk., 1971)

B. Zona pengendapan

Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh dua faktor, yaitu :

- 1) Karakteristik partikel tersuspensi
- 2) Overflow rate
- 3) Efisiensi Bak

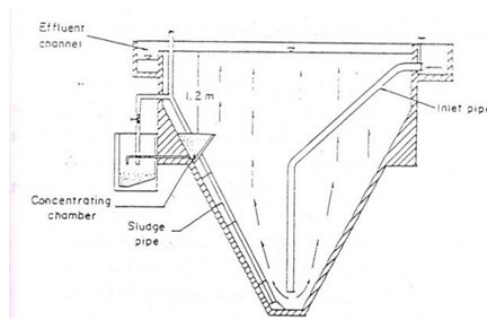
C. Zona lumpur

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. Menurut Qasim (1985), 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. Hopper terletak di bagian bawah inlet, sebab sebagian besar partikel besar mengendap di ujung inlet. Selain itu, apabila hopper diletakkan di bawah zona outlet, dikhawatirkan partikel yang telah terendapkan dapat tergerus karena adanya pergerakan air menuju pelimpah. Selain diletakkan



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

dekat dengan inlet, hopper juga dapat diletakkan secara dan juga dapat diletakkan di tengah bak seperti pada Gambar 2.16 berikut ini



Gambar 2.16 Letak Zona Lumpur pada Tengah Bangunan

(Sumber : Fair dkk., 1971)

Pembersihan lumpur juga dapat dilakukan dengan cara otomatis dengan beberapa macam scraper. Pada dasarnya, untuk bak rectangular terdapat dua jenis peralatan pembersih lumpur, yaitu tipe chain and flight dan travelling bridge dan memiliki scraper untuk mendorong lumpur masuk ke hopper. Tipe Chain and Flight merupakan tipe pembersih lumpur dengan kecepatan perpindahan yang tidak lebih dari 1 cm/detik. Dasar bak dirancang memiliki kemiringan sebesar 1%.

D. 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. Berikut ini adalah beberapa kriteria desain untuk *weir loading rate* dari berbagai sumber (Tabel 2.8)

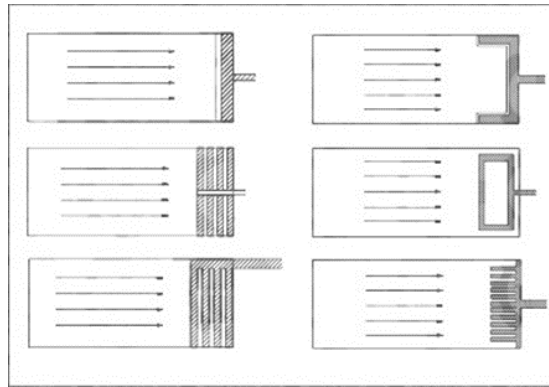
Tabel 2.8 Ragam Weir Loading dari Berbagai Sumber

<i>Weir Loading Rate</i> (m ³ /hari.m)	Sumber	Keterangan
186	Katz, 1962	
249,6	Katz, 1962	Pada daerah yang terpengaruh <i>density current</i>
264	Kawamura, 2000	
125-500	Droste, 1997	
172,8-259,2	Huisman, 1977	



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

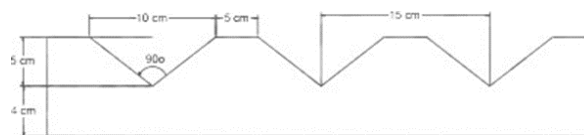
Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka weir loading rate akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona outlet tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar, antara lain dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Beragam Susunan Pelimpah pada Outlet

(Sumber : Fair dkk., 1971)

Pemilihan desain outlet sangat tergantung pada lebar bak, debit air yang dialirkan serta weir loading rate, sehingga pada saat menetapkan bentuk outlet. Ketiga hal tersebut harus dipertimbangkan. Jenis pelimpah yang umumnya digunakan adalah bentuk rectangular dan v- notch, namun v-notch lebih banyak digunakan karena memiliki kemampuan self cleansing dan dapat meminimalisasi pengaruh angin digunakan karena memiliki kemampuan self cleansing dan dapat meminimalisasi pengaruh angin.

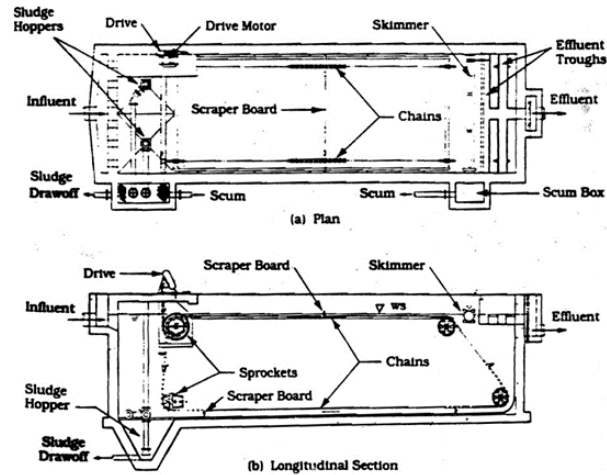


Gambar 2.18 Contoh V-notch

(Sumber : Fair dkk., 1971)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022



Gambar 2.19 Bak Pengendap Rectangular (a) Denah, (b) Potongan

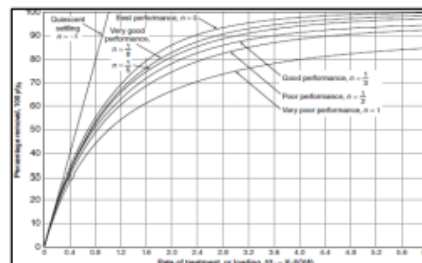
(Sumber : Tom D. Reynold,1996, 249)

Cara kerja bak sedimentasi bentuk rectangular (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona settling melalui baffle/sekat agar alirannya menjadi laminar. Di zona settling partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet.

Inlet baffle efektif dalam mengurangi kecepatan awal yang tinggi dan mendistribusikan aliran pada luas penampang yang seluas mungkin. Jika baffle lebar penuh digunakan, baffle harus memanjang dari 150 mm di bawah permukaan hingga 300 mm di bawah bukaan pintu masuk (Metcalf & Eddy, 2004). Adapun rumus-rumus yang dapat digunakan antara lain:

1. Kecepatan pengendapan partikel

Menentukan peformasi dari bak Sedimentasi berdasarkan persen removal TSS, bisa memilih menggunakan efektivitas performancenya.



Gambar 2.20 Performance curves for settling basins of varying effectiveness

Sumber: (Fair et al., 1971)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

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

Dengan :

Q/A : Over Flowrate

2. Massa Jenis Partikel flok (ρ)

$$\rho = sg \times \rho \text{ air}$$

Dengan:

Sg: specific gravity

ρ : massa jenis partikel flok (kg/m^3)

ρ air : massa jenis air (kg/m^3)

3. Diameter Partikel (D_p)

$$D_p = \left(\frac{V_s \times 18 \times v}{g \times (S_s - 1)} \right)^{0,5}$$

Dengan:

V_s : kecepatan pengendapan (m/s)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

v : viskositas kinematis (m^2/s)

S_s : specific gravity

4. Cek kecepatan penggerusan (V scouring)

$$v_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times d_p \times (sg - 1)}{\lambda}}$$

Dengan:

λ, β : kontrol penggerusan

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

d_p : diameter partikel (m)

5. Volume Bak Pengendap 1

$$V = Q \times t_d$$

Dengan :

V = Volume bak pengendap 1 (m^3)

Q = Debit (m^3/detik)

T_d = Waktu detensi (detik)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

6. Dimensi bak pengendap 1

$$V = L \times B \times H$$

Dengan :

V : volume bak pengendap (m^3)

L : Panjang bak pengendap (m)

B : Lebar bak pengendap (m)

H : Tinggi bak pengendap (m)

7. Diameter Partikel

$$\text{Diameter partikel (d)} = \left(\frac{18 \times v_0 \times \mu}{(S_g - 1)g} \right)^{1/2}$$

Dengan :

d : diameter partikel (cm)

v_0 = Kecepatan aliran (m/detik)

μ = viskositas (kg/m.s)

S_g = Specific gravity

G = Gravitasi

2.3.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik.

A. Activated Sludge

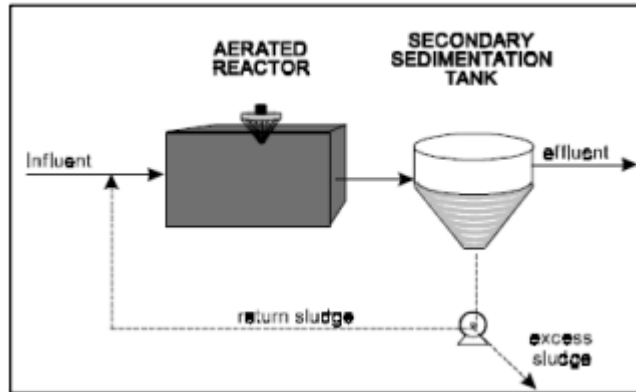
Lumpur aktif (activated sludge) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi, pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO_2 dan H_2O , NH_4 , dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa blower (*diffused*) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.

Pengolahan lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon). BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut sebagai substrat.



Gambar 2.21 Proses activated sludge

Sumber: (Sperling, 2007)

Adapun jenis activated sludge, yaitu:

➤ Konvensional

Pada sistem konvensional terdiri dari tanki aerasi, secondary clarifier dan recycle sludge. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi dan oksidasi bahan organik.

➤ Non Konvensional

• *Step aeration*

Merupakan tipe plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju outlet. Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik ditanki aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.

• *Tapered aeration*

Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara dititik awal lebih tinggi.

• *Contact Stabilization*

Contact tank yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

memproses lumpur aktif. *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengasorb (proses stabilisasi).

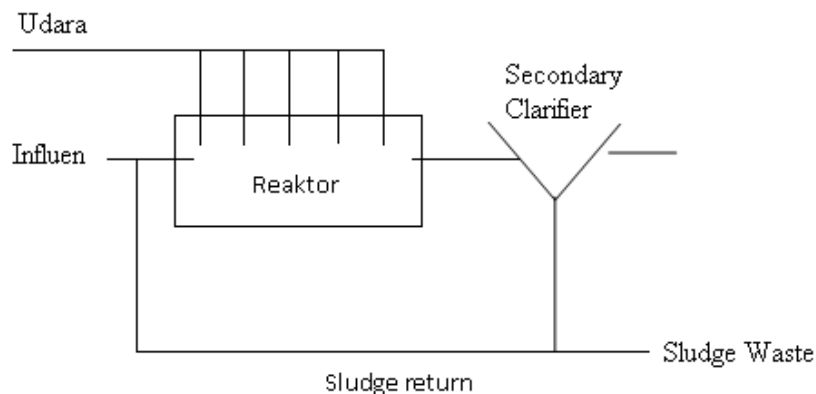
- *Oxidation Ditch*

Bentuk *oxidation ditch* adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s.

Parameter penting dalam desain activated sludge antara lain:

- F/M ratio, merupakan perbandingan antara substrat (food) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat (BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.
- Rasio resirkular (R), merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis activated sludge yang digunakan.
- Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C_0).
- Waktu detensi (td), adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi.

Pada sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, secondary clarifier dan recycle sludge. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi dan oksidasi bahan organik. Air limbah dan lumpur recycle dari clarifier masuk pada awal reaktor



Gambar 2.22 Lumpur aktif sistem konvensional

% removal : 85–90% COD, 85–95% TSS

Sumber : (WWTP, Planing, Desing and operation, syed Qasim hal. 52)



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Activated sludge merupakan 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.

Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Tetapi jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya operasi sistem ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu.

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 yang tersisa setelah Sedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 dan H_2O , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi (Sperling, 2007)

Pada kondisi aerobik, proses penghilangan amonia terjadi proses nitrifikasi, yaitu nitrogen amonium diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3$) dan pada kondisi anaerobik terjadi proses denitrifikasi yaitu nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$) (Said, 2017).

Senyawa fenol merupakan senyawa organik yang potensial untuk didegradasi secara oksidasi. Bakteri yang mampu mendegradasi fenol antara lain *Pseudomonas sp.*, *Acinetobacter sp.*, dan *Arthrobacter sp.* Selain itu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bakteri *Serratia sp.* juga mampu mendegradasi senyawa fenol yang terkandung dalam limbah industri. Semakin besar konsentrasi MLSS, semakin besar penurunan fenol. Semakin besar konsentrasi MLSS berarti semakin banyak jumlah mikroba yang memanfaatkan fenol sebagai sumber makanan dan mendegradasi fenol tersebut sehingga penurunan fenol semakin besar (Cho et al., 2000).



Rumus yang digunakan :

1. Waktu detensi bak Activated Sludge

$$f/m = \frac{Ca}{\theta_c \times X}$$

Dengan :

f/m : Rasio f/m (hari)

θ_c : Waktu detensi (detik)

X : MLSS (mg/L)

2. Volume reaktor

$$V_r = Q_{in} (1 + R)\theta$$

Dengan :

V_r : Volume reaktor (m³)

Q_{in} : Debit masuk (m³/hari)

θ : Waktu detensi (detik)

3. Volume bak

$$V = L \times B \times H$$

Dengan :

V : Volume (m³)

L : Panjang bak (m)

B : Lebar bak (m)

H : Tinggi bak (m)

4. Partikulat BOD di Effluent

$$\text{BOD Partikulat} = \frac{VSS}{SS} \times fb$$

Dengan :

fb : Biodegradable Fraction of VSS

BOD Partikulat : Partikulat BOD di Effluent (mg BOD/mg SS)

5. BOD yang teremoval

$$\text{BOD Removal} = \text{BOD influent } (C_o) \times \% \text{ removal}$$

Dengan :

C_o : BOD influent (mg/L)

% removal : Kemampuan meremoval unit



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

6. BOD yang lolos

$$C_r = C_o - \text{BOD teremoval}$$

Dengan :

C_o : BOD Influent(mg/l)

C_r : BOD effluent (mg/l)

7. Debit Resirkulasi (Q_r)

$$Q_r = Q_o \times R$$

Dengan :

Q_r : Debit resirkulasi (m^3/s)

R : Ratio resirkulasi

Q_o : Debit per unit (m^3/s)

8. Debit yang masuk ke bak AS (Q_{in})

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

Dengan :

Q_{in} : Debit yang masuk ke bak AS ($m^3 /hari$)

Q_o : Debit per unit (m^3/s)

Q_r : Debit resirkulasi (m^3/s)

9. Volume Reaktor

$$V = \frac{Y \times \theta \times Q \times (S_0 - S)}{X_v(1 + F_b \times K_d \times \theta_c)}$$

Dengan :

V_r : Volume reaktor (m^3)

θ_c : Umur lumpur (hari)

Q_r : Debit resirkulasi (m^3/s)

Y : Koefisien batas pertumbuhan (mg.Vss/mg.BOD)

S_i : Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/ m^3)

S_e : BOD terlarut dari effluent (mg/L)

X_v : MLSS (mg/L)

F_b : Biodegradable Fraction of VSS

K_d : Koefisien Endogeneous (hari)

10. Konsentrasi resirkulasi



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

$$X_r = \frac{X \times (1 + R)}{R}$$

Dengan :

X_r : konsentrasi resirkulasi

X_x : konsentrasi MLSS (mgVSS/L)

R : rasio resirkulasi

11. Kuantitas lumpur yang dihasilkan setiap hari (γ_{obs})

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + fb \times Kd \times \theta_c}$$

Dengan :

Y_{obs} : Kuantitas lumpur tiap hari (mg.Vss/mg.BOD)

Y : Koefisien batas pertumbuhan (mg.Vss/mg.BOD)

Kd : Koefisien Endogeneous (hari)

θ_c : umur lumpur (hari)

12. Kontrol F/M ratio

$$F/M = \frac{Q_{in} \times S_o}{Vol \times X_v}$$

Dengan :

F/M : F/M ratio (/hari)

Q_{in} : Debit per unit (m^3/s)

S_o : Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/m^3)

Vol : Volume reaktor (m^3)

X_v : MLVSS (kg/m^3)

13. Kebutuhan Oksigen Total

$$\text{Kebutuhan } O_2 = \frac{1,46 \times Q_{in} \times (C_0 - C_r)}{10^3}$$

Dengan :

Q_{in} : Debit influent (m^3/s)

C_o : BOD influent (mg/l)

C_r : BOD effluent (mg/l)

14. Kebutuhan Power Aerator

$$P = \frac{\text{Kebutuhan } O_2}{\text{Standard oxygenation efficiency}}$$



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

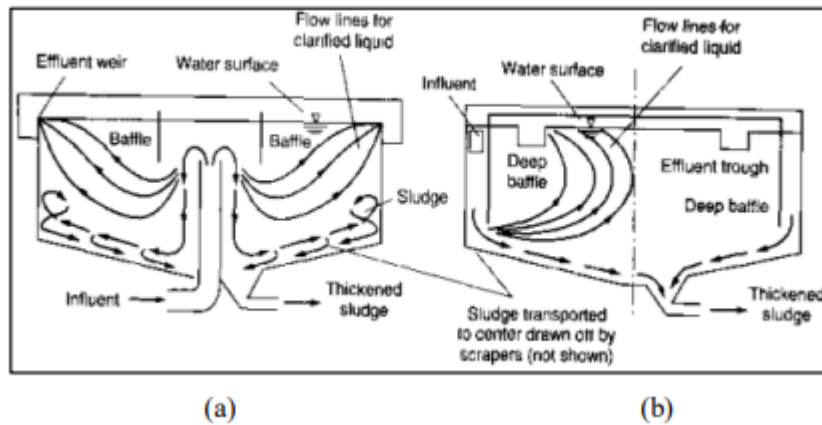
Dengan :

P = Kebutuhan power aerator

Standard efisiensi oksigen = 1,8 kg O₂/kW.jam

B. Clarifier

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



Gambar 2.23 Influent pipa dalam unit clarifier (a) di tengah (b) di samping

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2004)

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 2.23. Kedua konfigurasi aliran bisa digunakan, meskipun tipe influent tengah lebih umum, terutama untuk pengolahan primer. Dalam desain influent tengah (lihat Gambar 2.23a), air limbah diangkut ke pusat tangki dalam pipa yang digantungkan dari jembatan, atau dibungkus dengan beton di bawah lantai tangki (Metcalf & Eddy, 2004).

Di tengah tangki, air limbah memasuki sumur melingkar yang dirancang untuk mendistribusikan aliran secara merata ke segala arah. Sumur tengah



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

memiliki diameter biasanya antara 15 dan 20 persen dari diameter tangki total dan kedalaman berkisar dari 1 hingga 2,5 m. Air limbah mengalir secara spiral di sekitar tangki dan di bawah baffle, dan cairan yang telah dijernihkan disaring melewati pelimpah/weir di kedua sisi.

Tangki melingkar dengan diameter 3,6 hingga 9 m memiliki peralatan penghilang padatan (*scraper*) didukung pada balok yang membentang tangki. Tangki berdiameter 10,5 m dan lebih besar memiliki dermaga pusat yang mendukung mekanisme dan dicapai dengan jembatan.

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).

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

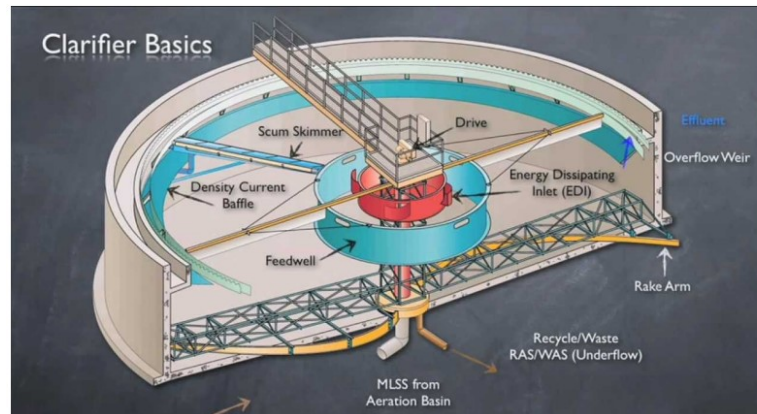
Bangunan *clarifier* digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper blade* yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga *sludge* terkumpul pada masing-masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang *blades*. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat ditengah 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).



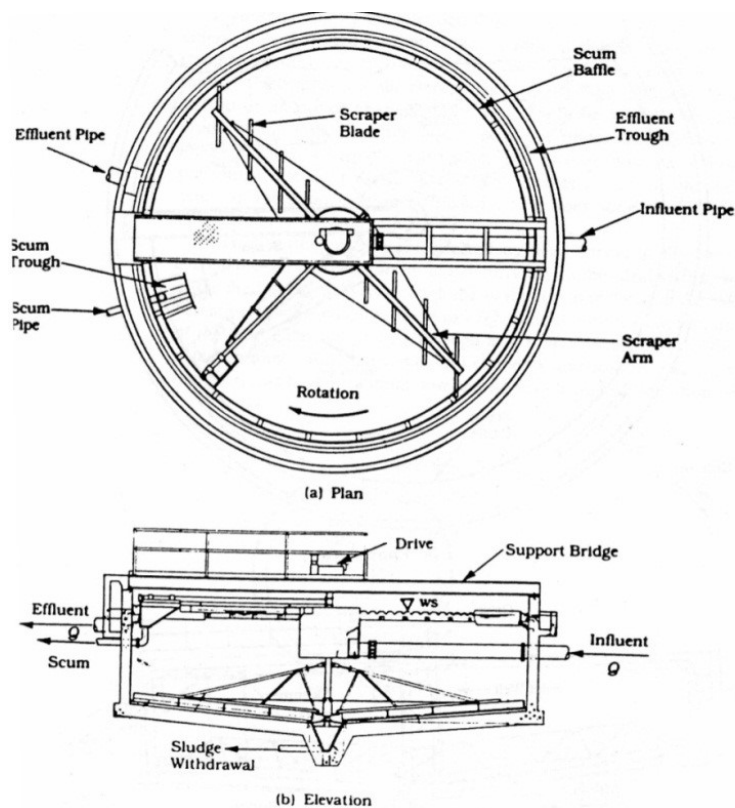
PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Fungsinya sama dengan Bak pengendap, tetapi clarifier biasanya di tempatkan setelah pengolahan kedua (pengolahan Biologis).



Gambar 2.24 Clarifier

(Sumber : <https://www.anakteknik.co.id/chandra25/articles/apa-itu-unit-water-treatment-plant-dan-demineralizer>)



Gambar 2.25 Clarifier. (a) Denah, (b) Tampak Samping

(Sumber : <https://slideplayer.com/slide/15910414/>)



Rumus yang digunakan :

1. Diameter bak

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

Dengan :

D : Diameter bak (m)

A : Luas area surface (m²)

2. Kedalaman bak

$$H = \frac{Q \cdot td}{A}$$

Dengan :

Q : Debit masuk (m³/hari)

td = Waktu detensi (detik)

A = Luas area surface (m²)

3. Kecepatan pengendapan partikel (vs)

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

Dengan:

V_s : kecepatan pengendapan (m/s)

H : tinggi clarifier (m)

T_d : waktu detensi (s)

4. Diameter Partikel (Dp)

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

Dengan:

V_s : kecepatan pengendapan (m/s)

g : percepatan gravitasi (m/s²)

ν : viskositas kinematis (m²/s)

S_s : specific gravity

5. Kecepatan Horizontal di bak (vh)

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

Dengan:



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

V_h : kecepatan horizontal (m/s)

Q_{in} : debit yang masuk ke clarifier (m^3/s)

D : diameter clarifier (m)

H : tinggi clarifier (m)

6. MLVSS pada Clarifier

$$\text{MLVSS}_{\text{Clarifier}} = \text{MLVSS}_{\text{total}} - \text{MLVSS}_{\text{as}}$$

Dengan:

MLVSS_{as} : kebutuhan MLVSS yang tetap ada di bak activated sludge

7. Massa Solid total pada clarifier

$$M_{\text{solid total}} = \text{MLVSS}_{\text{clarifier}} \times V_{\text{clarifier}}$$

Dengan:

$M_{\text{solid total}}$: massa solid total di clarifier

$\text{MLVSS}_{\text{clarifier}}$: kebutuhan MLVSS yang ada di clarifier

2.3.4 Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

A. *Sludge Thickener*

Sludge thickener adalah suatu bak yang berfungsi untuk menaikkan kandungan solid dari lumpur dengan cara mengurangi porsi fraksi cair (air), sehingga lumpur dapat dipisahkan dari air dan ketebalannya menjadi berkurang atau dapat dikatakan sebagai pemekatan lumpur. Tipe thickener yang digunakan adalah gravity thickener dan lumpur berasal dari bak pengendap I dan pengendap II. Pada sistem gravity thickener ini, lumpur diendapkan di dasar bak sludge thickener (Metcalf & Eddy, 2004).

B. *Sludge Drying Bed*

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

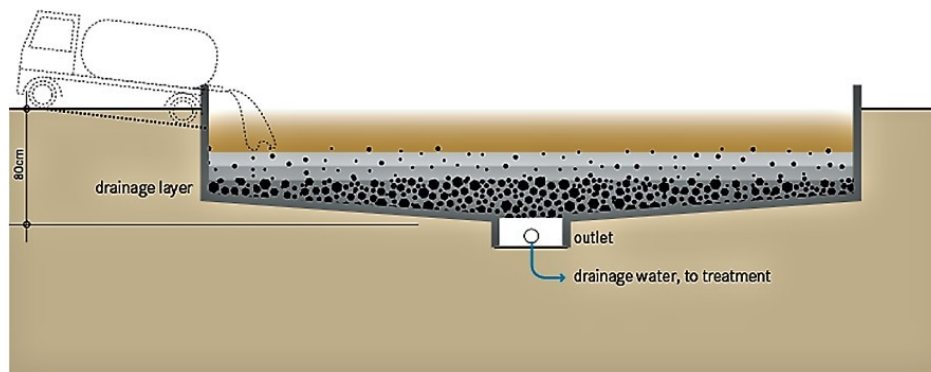
Pengeluaran air lumpur dilakukan melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

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).



Gambar 2.26 Sludge Drying Bed

(Sumber : <http://drincorda.iwlearn.org/demonstrating-solutions/nature-based-solutions-for-wastewater-management>)

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

- Mereduksi kadar lumpur
- Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

Kelebihan sistem ini adalah pengoperasian yang sangat sederhana dan mudah, biaya operasional relatif rendah dan hasil olahan lumpur bisa kering atau kandungan padatan yang tinggi. Kelemahan sistem ini adalah membutuhkan lahan yang luas dan sangat tergantung cuaca.

Rumus yang digunakan :

1. Debit Cake Sludge (Q_i)

$$Q_i = \frac{Q \text{ lumpur} \times (1-P)}{1-P_i}$$

Dengan :

Q lumpur : Debit lumpur yang masuk (m^3/hari)

P : Kadar air (%)

P_i : Berat air dalam cake (%)

2. Volume sludge srying bed (V)

$$V = Q_i \times \text{pengisian lumpur}$$

Dengan :

Q_i : Debit cake sludge (m^3/hari)

Pengisian lumpur : hari

3. Luas permukaan bed

$$A = \frac{vb}{\text{tebal cake}}$$

Dengan :

V_b : Volume sludge drying bed (m^3)

A : Luas permukaan bed (m^2)

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. Berikut merupakan persentase penurunan beban pencemar berdasarkan beberapa literasi yang ada pada tabel berikut.



**PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR
BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022**

Tabel 2.9 Persen Removal

Unit Pengolahan	% Removal	Sumber
I. Pre Treatment		
- Saluran pembawa	-	-
- Screening	-	-
II. Primary Treatment		
- Bak Ekualisasi	-	-
- Koagulasi Flokulasi	-	-
- Sedimentasi (Bak Pengendap 1)	COD (30-40%) TSS (80-90%)	Metcalf & Eddy, 2004 <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse</i> , 4th Edition, hal 396 & 497
III. Secondary Treatment		
- Activated Sludge	TSS 85-95%	Sperling, <i>Activated Sludge and Aerobic Biofilm Processes</i> , hal 13
	COD 50-95%	Cavaseno, V. (1987). <i>Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering</i> . Page 15.
- Clarifier (Bak Pengendap 2)	COD (30-40%)	<i>Wastewater Engineering Treatment, Reuse and Recovery</i> , 5th Edition, Metcalf & Eddy, hal 396
	TSS (60-80%)	Huisman, L. (1977). <i>Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration</i> . Page 12
IV. Pengolahan Lumpur		
- Sludge Thickener	-	-
- Sludge Drying Bed	-	-



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 IPAL 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 :

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



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

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

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut :

- a) Kehilangan tekanan pada perpipaan
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, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S .
- c) Kehilangan tekanan pada pompa
Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya.
- d) Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok
Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram

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) Menambahkan 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 sesudah intake.



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

- d) Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air.

2.6 BOQ dan RAB

2.6.1 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 perencanaan.

Tujuan Membuat BOQ :

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

2.6.2 RAB (Rincian 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.



PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN KAWASAN INDUSTRI 2022

RAB dapat meliputi seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah proyek, atau hanya meliputi 1 sub pekerjaan saja. Misalnya RAB sub pekerjaan konstruksi baja, RAB sub pekerjaan instalasi listrik dan seterusnya.

Karakteristik RAB :

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

Tujuan Membuat BOQ :

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.

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.