

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri Tahu

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan industri Tahu yang mempunyai karakteristik limbah yang berbeda dengan industri lainnya. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur (PER.GUB.JATIM) No. 72 Tahun 2013 limbah cair Industri Tahu mempunyai karakteristik dan standart baku mutu antara lain:

2.1.1 Derajat Keasaman (pH)

pH (*Power of Hydrogen*) menunjukkan adanya konsentarsi ion hydrogen dalam air yang dapat menjelaskan derajat keasaman suatu perairan. pH merupakan suatu parameter penting untuk menentukan kadar asam serta basa dalam air. Penentuan pH merupakan tes yang paling penting dan paling sering digunakan pada kimia air. pH digunakan pada penentuan alkalinitas, CO₂, serta dalam kesetimbangan asam basa. Pada temperatur yang diberikan, intensitas asam atau karakter dasar suatu larutan diindikasikan oleh pH dan aktivitas ion hidrogen. Perubahan pH air dapat menyebabkan berubahnya bau, rasa, dan warna. Pada proses pengolahan air seperti koagulasi, desinfeksi, dan pelunakan air, nilai pH harus dijaga sampai rentang dimana organisme partikulat terlibat. Kadar pH yang seimbang berkisar antara 6-9 (Metcalf & Eddy. n.d .2004).

2.1.2 Total Suspended Solid (TSS)

Padatan tersuspensi merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal mineral mineral misalnya pasir yang sangat halus, silt, lempung, atau berasal dari zat organik asam 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 (Said, 2017). TSS merupakan penyebab utama kekeruhan air yang disebabkan oleh partikel-partikel tersuspensi di dalam air yang dapat mengganggu penyerapan cahaya matahari ke dalam air. Kekeruhan akan menghambat penembusan sinar matahari yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dan fitoplankton untuk melakukan fotosintesis. TSS meliputi seluruh padatan yang terdapat dalam air, baik senyawa organik maupun anorganik (Metcalf & Eddy. n.d .2004). Kandungan TSS pada air limbah industri tahu ini adalah 480 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 100 mg/L (PermenLHK Nomor 5 Tahun 2014).

2.1.3 Biological Oxygen Demand (BOD)

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

Kandungan BOD pada air limbah Industri Tahu ini adalah 835.24 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD yang di perbolehkan di buang ke lingkungan adalah sebesar 150 mg/L.

2.1.4 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik di dalam air. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses kimia dan mengakibatkan berkurangnya kandungan oksigen terlarut dalam air (Ali Masduqi dan Abdul F.Assomadi, 2016).

COD merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kimia yang kuat (potassium dikromat) (Qasim, 1985).

Kandungan COD pada air limbah Industri Tahu ini adalah 26000 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang di perbolehkan di buang ke lingkungan adalah sebesar 300 mg/L.

2.1.5 Temperatur

Suhu adalah suatu ukuran dingin atau panasnya keadaan atau sesuatu lainnya. Satuan ukur dari Suhu yang banyak di gunakan di indonesia adalah (Derajat Celcius). Sementara satuan ukur yang banyak digunakan di luar negeri adalah derajat fahrenheit. Suhu adalah suatu ukuran energi kinetik rata-rata dari suatu molekul. Jika temperatur tinggi maka energi kinetik rata-rata pun akan besar.

Air yang baik harus memiliki temperatur yang sama dengan temperatur udara (20-30°C). Air yang sudah tercemar mempunyai temperature di atas atau dibawah temperatur udara. Tinggi rendah suhu air sungai dipengaruhi oleh suhu udara sekitarnya dan intensitas paparan sinar matahari yang masuk ke badan air, intensitas sinar matahari dipengaruhi oleh penutupan awan, musim dan waktu dalam hari, semakin banyak intensitas sinar matahari yang mengenai badan air maka akan membuat suhu air sungai semakin tinggi (Agustiningsih, 2012).

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dengan baik agar dapat

menurunkan beban pencemar secara efektif. Menurut (Sugiharto, 1987), dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan yaitu:

- a) Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*) Pengolahan pendahuluan 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.
- 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 dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena:

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

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah mereduksi kadar lumpur dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Adapun bangunan pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair di kawasan industri, antara lain:

2.2.1 Pipa Pembawa

Pipa pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa 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). Pada saluran pembawa, setiap 10 m saluran pembawa terdapat bak kontrol. Atau apabila terjadi jika ada ukuran screen lebih besar dari saluran, maka peletakan screen dipasang di bak kontrol.

Kecepatan aliran minimum dikondisikan untuk memenuhi kriteria minimal Self Cleansing Velocity yaitu kecepatan dimana partikel-partikel padat dalam aliran air limbah akan tetap tersuspensi, tanpa mengendap di dasar saluran pembuangan. Dengan Self Cleansing Velocity diperkirakan aliran air akan mampu mengangkut padatan hingga diameter 1-5 mm dan mencegah dekomposisi pada air limbah dengan menyalurkannya lebih cepat. Untuk itu, kecepatan minimum yang diperbolehkan adalah 0,5 m/s. Disamping itu, hal lain yang harus diperhatikan adalah kecepatan maksimum

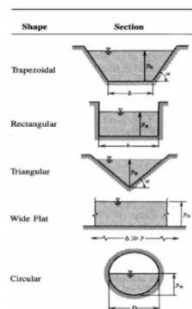
aliran. Pada kecepatan aliran yang tinggi akan terjadi turbulensi yang berdampak pada terjadinya penggerusan dibagian permukaan pipa sehingga pipa akan cepat aus dan pemakaiannya tidak tahan lama. Oleh karena itu, kecepatan maksimum aliran yang diijinkan untuk bahan pipa pvc adalah 3 m/s.



Gambar 2. 1 (a) Saluran Tertutup dan (b) Saluran Terbuka

(Sumber : <https://www.precon.co.id/produk/detail-produk/2019/02/u-ditch-saluran-terbuka> & <http://area-tekniksipil.blogspot.com/2018/09/perbedaan-saluran-tertutup-danterbuka.html>)

Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, di antaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 2 Bentuk – bentuk Saluran Terbuka

(Sumber : <https://images.app.goo.gl/22XR6EatJ4BkSVjX9>)

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

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Pipa yang alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie & Sugiyanto, 2002).

2.2.1 Screen

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). 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

(Sumber: <https://tiimg.tistatic.com/fp/1/005/433/bar-screen-for-water-treatment-plant-494.jpg>)

2.2.3 Bak Ekualisasi

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.

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).

2.2.4 Bak Netralisasi

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda diantara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas buffer yang terjadi karena ada produk CO₂ dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam (Said, 2017).

Larutan dikatakan asam bila : $H^+ > H^-$ dan $pH < 7$

Larutan dikatakan netral bila : $H^+ = H^-$ dan $pH = 7$

Larutan dikatakan basa bila : $H^+ < H^-$ dan $pH > 7$

Ada beberapa cara menetralisasi kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti:

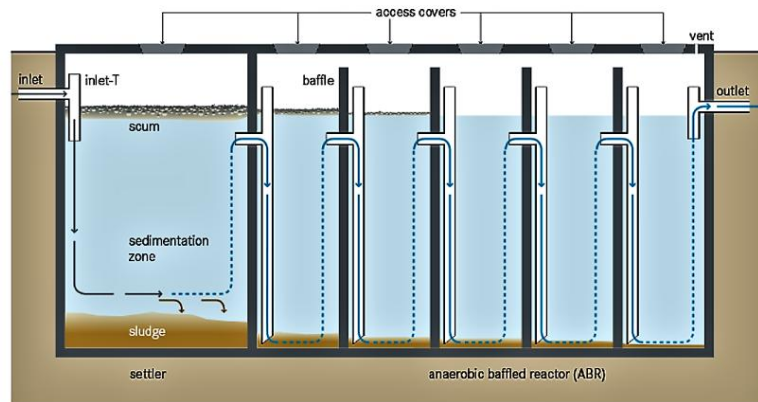
- Pencampuran limbah.

- Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur.
- Pencampuran limbah asam dengan Slurry kapur.
- Penambahan sejumlah $NaOH$, Na_2CO_3 , $Ca(OH)_2$ atau NH_4OH ke limbah asam.
- Penambahan asam kuat (H_2SO_4 , HCl) dalam limbah basa.
- Penambahan CO_2 bertekanan dalam limbah basa.
- Pembangkitan CO_2 dalam limbah basa.

2.2.5 Anaerobic Baffled Reactor

Anaerobic Baffle Reactor (ABR) merupakan unit pengolahan biologis dengan metode pengolahan suspended growth yang memodifikasi tangki septik dengan menambahkan sekat-sekat (baffle). Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk melalui aliran upflow dan downflow) untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganismenya.

ABR menggabungkan proses sedimentasi dan penguraian material organik oleh mikroorganismenya dalam satu sistem, di mana proses sedimentasi terjadi pada kompartemen pertama dan proses penguraian material organik pada beberapa kompartemen selanjutnya. Mikroorganismenya berkembang dalam lapisan lumpur yang terakumulasi di dasar kompartemen. Unit ABR mampu menyisihkan 65-90% COD; 70-95% BOD; dan 80-90% TSS (Kemen PUPR).



Gambar 2. 4 Unit Anaerobic Baffled Reactor

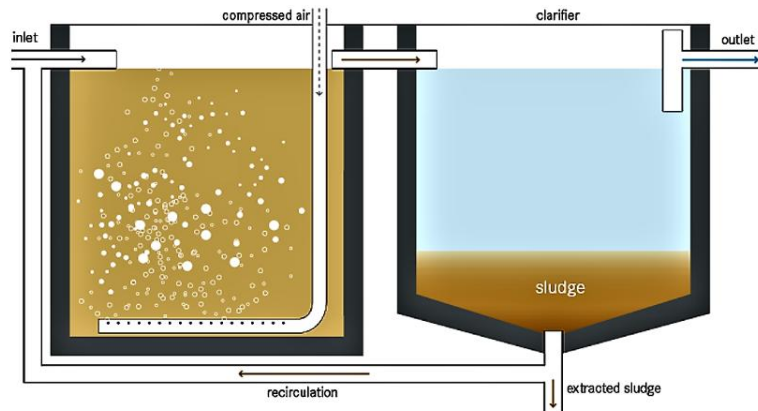
(Sumber : <https://sswm.info/taxonomy/term/3931/anaerobic-baffled-reactor-%28abr%29>)

2.2.6 Activated Sludge

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

Pengolahan air limbah pada umumnya dilakukan dengan menggunakan metode biologi. Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah metode yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Mikroorganisme sendiri selain menguraikan dan menghilangkan kandungan material, juga menjadikan material yang terurai tadi sebagai tempat berkembang biaknya. Dalam unit *Activated Sludge*, bakteri dominan adalah jenis aerob seperti *Zoogloea ramigera* yang membutuhkan oksigen untuk mengurai limbah organik. Bakteri ini berperan membentuk flok (gumpalan) padat

melalui sekresi lendir, yang memungkinkan kotoran terlarut berubah menjadi massa biologis yang mudah dipisahkan dari air jernih.



Gambar 2. 5 Unit Activated Sludge

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

Metode pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*) adalah merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut. Dengan menerapkan sistem ini didapatkan air bersih yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Diharapkan pemanfaatan sistem daur ulang air limbah akan dapat mengatasi permasalahan persediaan cadangan air tanah demi kelangsungan kegiatan industri dan kebutuhan masyarakat akan air. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Air daur ulang yang kami kerjakan dapat dimanfaatkan dengan aman untuk kebutuhan konsumsi air seperti cooling tower, boiler laundry, toilet flusher, penyiraman tanaman, general cleaning, fish pond car wash dan kebutuhan air yang lainnya. 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 system 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 dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 dan H_2O , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi.

Adapun jenis-jenis proses di dalam activated sludge, yaitu:

a. Konvensional

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

b. Nonkonvensional

1) Step Aerasi :

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

2) Tapered Aerasi

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

3) Contact Stabilisasi

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu :

- Contact tank yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
- Reaeration tank yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilisasi).

4) Pure Oxygen

Oksigen murni diinjeksikan ke tanki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan td pendek.

5) *High Rate Aerator*

Kondisi ini tercapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 - 5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar.

6) *Extended Aerator*

Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan time detention (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.

7) Oxidation Ditch

Bentuk oksidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif adalah sebagai berikut:

a. Oksigen

Oksigen dibutuhkan ketika pengolahan terhadap air limbah dilakukan secara aerob. Tetapi untuk proses anaerob, kehadiran oksigen pada reaktor pengolahan limbah tidak diperbolehkan sehingga mikroorganisme yang digunakan untuk mendegradasi limbah adalah bakteri anaerob yang tidak membutuhkan oksigen.

b. Nutrisi

Mikroorganisme akan menggunakan bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah cair sebagai makanannya, tetapi ada beberapa unsur kimia penting yang banyak digunakan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan bakteri sehingga pertumbuhan bakteri optimal. Sumber nutrisi tersebut antara lain :

- Makro nutrient Sumber makro nutrient yang sering ditambahkan antara lain adalah *N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na*, dan *Cl*. Unsur nitrogen dan phospor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2004).
 - Mikro nutrient Sumber mikro nutrient yang penting antara lain adalah *Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu*, dan *Ni*. Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Robert H. Perry, 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrient *Cu* lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan *TOC* menjadi menurun (Y.P. Ting, H. Imai and S. Kinoshita, 1994).
- c. Komposisi organisme Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling baik untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah free ciliata diikuti dengan stalk ciliata dan terdapat beberapa rotifera.
- d. pH Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6.5- 7.5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat diatasi dengan larutan H_2SO_4 atau $NaOH$ maupun larutan kapur.
- e. Temperatur Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik

terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah 32-36°C (Hammer, Mark J, 2012). Adapun parameter penting untuk design activated sludge adalah:

- 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 terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis activated sludge yang digunakan.

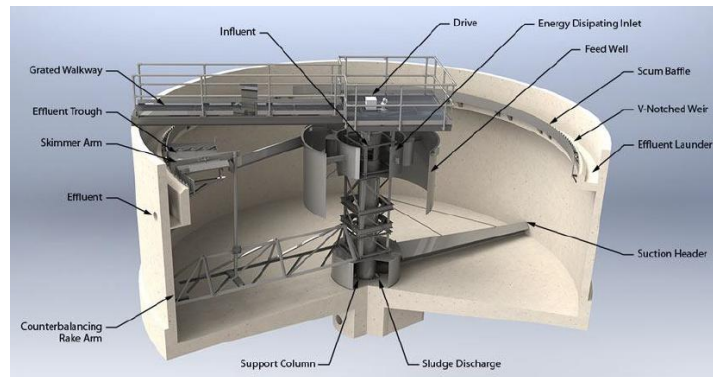
- Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C_0).

- Waktu detensi (td).

Td adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi

- Volume bak aerasi (V).

2.2.7 Clarifier



Gambar 2. 6 Unit Clarifier

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

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri patogen lainnya. Dalam unit Clarifier, kondisi lingkungan cenderung anoksik atau anaerob di bagian dasar karena minimnya oksigen. Di sini, bakteri filamen seperti *Sphaerotilus natans* berfungsi sebagai kerangka pengikat flok agar tidak pecah saat mengendap, namun jika kondisi terlalu anaerob akibat penumpukan lumpur yang terlalu lama, bakteri ini dapat menyebabkan lumpur mengapung dan merusak kualitas efluen. Salah satu contoh pengolahan ketiga ini adalah bangunan clarifier. Clafier sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut

digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing – masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

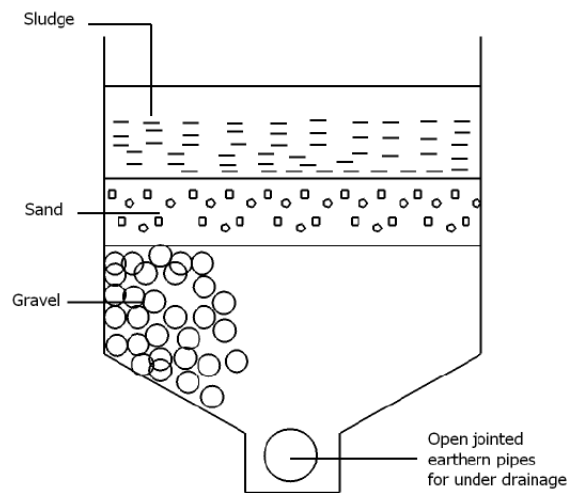
Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1 – 2 jam. Kedalaman clarifier rata-rata 10-15 feet (3-4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter). Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang tertampung di secondary clarifier ini sudah memenuhi baku mutu air limbah sehingga dapat dibuang langsung ke saluran air kotor atau diolah dan dimanfaatkan. Air yang telah diolah dan ditampung di secondary clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll.

Pada secondary clarifier ini tergantung pada kedalaman tangki, bedanya dengan preliminary clarifier yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun masalahnya pada secondary clarifier adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi.

2.2.8 Sludge Treatment

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena:

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



Gambar 2. 7 *Sludge Drying Bed*

(Sumber : <https://images.app.goo.gl/B9RP1dbZXcMWFon96>)

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

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

Jenis-jenis unit pengolahan lumpur meliputi:

1. *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.

2. *Sludge Digester*

Sludge digester berfungsi untuk menstabilkan sludge yang dihasilkan dari proses lumpur aktif dengan mengomposisi organik material yang bersifat lebih stabil berupa anorganik material sehingga lebih aman untuk dibuang.

3. *Sludge Drying Bed*

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

2.2.9 Unit Kombinasi Anaerobic-Aerobic

Proses pengolahan air limbah yang dilakukan pada unit biologis pada dasarnya yaitu dengan mengalirkan air limbah yang akan diolah ke dalam suatu reaktor biologis. Reaktor biologis ini sebelumnya telah diisi oleh media penyangga, dimana media penyangga tersebut berfungsi untuk perkembangbiakkan mikroorganisme. Sistem unit biologis ini dapat dilakukan dengan cara aerob, anaerob atau kombinasi antara aerob anaerob. Untuk proses anaerob tidak menggunakan udara ataupun oksigen. Sebaliknya jika proses dilakukan secara aerob maka harus ditambahkan oksigen. Namun biasanya penggunaan sistem aerob dipilih untuk beban pengolahan yang tidak terlalu besar. Oleh sebab itu sistem aerob biasanya digunakan setelah melewati sistem anaerob pada proses sebelumnya.

2.3 Persen Removal

Tujuan dari proses pengolahan air buangan adalah menurunkan beban pencemar air limbah tersebut agar bisa dibuang ke badan sungai. Banyaknya penurunan beban pencemar dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, didapatkan rangkuman % penyisihan untuk unit pengolahan serta keseluruhan parameter dalam air sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air limbah yang telah direncanakan. Berikut rangkuman % penyisihan air beserta sumber yang tertera:

Tabel 2. 1 Persen Removal Unit Pengolahan Air Limbah Industri Tahu

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
Pipa Pembawa & Bar Screen	pH		-
	BOD	0%	-
	COD	0%	-
	TSS	0%	-
Bak Ekualisasi	pH	0%	-
	BOD	0%	-
	COD	0%	-
	TSS	0%	-
Netralisasi	pH	Netral	
	BOD	0%	-
	COD	0%	-
	TSS	0%	-
Anaerobic Baffle Reactor	pH	0%	-
	BOD	70-95%	Buku Panduan Perencanaan
	COD	65-90%	

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
	TSS	80-90%	Teknik terinci bangunan pengolahan lumpur tinja Dirjen Cipta Karya hal 68
Activated Sludge	pH	0%	-
	BOD	85-95%	Qasim, dkk., 2018, Wastewater Treatment Objectives, Design Considerations, and Treatment Processes, hal 6-19
	COD	85-95%	
	TSS	80-90%	
Clarifier	pH	0%	
	BOD	50-80%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse.
	COD	0%	-
	TSS	60-88%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
			Treatment and Reuse.
Bak Penampung Sludge & Sludge Drying Bed	pH	0%	-
	BOD	0%	-
	COD	0%	-
	TSS	0%	-

2. 4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis merupakan gambaran visual dari garis tinggi muka air (hydraulic grade line) dalam suatu sistem instalasi pengolahan air. Profil ini menunjukkan ketinggian setiap unit pengolahan, mulai dari titik masuk (influen) hingga titik keluar (efluen), serta jaringan perpipaannya. Tujuan penyusunan profil hidrolis adalah untuk memastikan aliran air dapat mengalir secara gravitasi, menentukan apakah diperlukan penggunaan pompa, dan menghindari risiko banjir atau luapan air akibat aliran balik. Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam penyusunan profil hidrolis antara lain adalah elevasi antar unit, kehilangan energi akibat gesekan, serta perbedaan tekanan dan ketinggian air agar sistem dapat bekerja dengan lancar dan aman. 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

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

- f. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga 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 pada clear well.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum clear well demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama sesudah intake.
- d. Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air.