PENGELOLAAN LIMBAH INDUSTRI

Samsudin Affandi

Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institute Teknologi Adhi Tama Surabaya

1. PENDAHULUAN

Secara umum, sumber limbah bisa dibedakan menjadi beberapa kegiatan utama, yaitu : kegiatan industry/pabrik, kegiatan rumah tangga, kegiatan transpotasi (darat maupun laut) , kegiatan pertanian, keberadaan hutan, kegiatan pertokoan, hotel, apartemen, dan lain-lain. Keberadaan industry, menghasilkan dampak positip, berupa hasil produksi, menciptakan lapangan kerja, dan lain-lain, namun demikian juga menimbulkan dampak negatip, yaitu berupa limbah industry (bisa padat, cair dan gas). Agar limbah industry tidak mencemari lingkungan, maka perlu adanya pengelolaan limbah. Pengelolaan limbah meliputi manajemen dan pengolahan limbah. Untuk manajemen limbah meliputi : upaya untuk memperkecil terjadinya/munculnya limbah atau memanfaatkan limbah, sedangkan mengolah limbah adalah upaya untuk merubah kualitas limbah agar memenuhi persyaratan baku mutu kualitas limbah yang berlaku.

Beberapa contoh industry beserta limbahnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1). Pabrik Semen

Pada pabrik semen, mempunyai potensi menghasilkan limbah sebagai berikut :

- Limbah padat (*tailing*)
- Debu, yang mengandung senyawa antara lain : CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, dll, dan biasanya dapat tersebar sampai radius 2 – 3 km

- Limbah cair (sisa/ceceran *cooling water*), cenderung mengandung minyak lubrikasi/pelumas bekas.
- Limbah gas, bersumber dari hasil pembakaran bahan bakar (bisa berupa: batubara, minyak, maupun gas), yang mengandung beberapa senyawa/zat, antara lain : CO_2, NO_x, SO_x, debu yang keluar lewat cerobong.

2). Pabrik Pulp dan Kertas

Pada pabrik ini, mempunyai potensi menghasilkan limbah sebagai berikut :

- Limbah cair, terindikasi : BOD, COD, TSS, dan sering terikut serat pendek.
- Limbah gas, terindikasi : H_2S, SO_2, NO_x , Cl_2 .
- Limbah padat, terindikasi : ampas kayu, serat pulp, lumpur kering.

3). Pabrik Petrokimia Hulu

Pada pabrik ini, mempunyai potensi menghasilkan limbah sebagai berikut :

- Gas, berupa : SO_2 , NO_x
- Debu, SiO_2
- Limbah cair, dengan indikasi kadar : BOD, COD, NH_4CL
- Limbah padat, berupa katalis bekas, yang bersifat B_3 .

4). Pabrik Pembuatan Besi Dasar atau Baja Dasar

Pada pabrik ini, mempunyai potensi menghasilkan limbah, yang termasuk B_3 sebagai berikut :

- Limbah padat (*basic slag*)
- Limbah cair (minyak dan kerak/*scale*)
- Gas (NO_2 , H_2S , SO_2)

Debu berupa *scale* (2-3 % dari total produk per hari

5). Kegiatan Galangan Kapal dengan system *graving dock*

Pada pabrik ini, mempunyai potensi menghasilkan limbah sebagai berikut :

- Pembuatan kolam *graving* dilakukan dengan mengeruk laut yang dikawatir akan menyebabkan terjadinya longsoran atau bisa muncul abrasi pantai.
- Perbaikan kapal berpotensi menghasilkan limbah cair (air *ballast*, pengecatan lambung kapal, dan pemakaian bahan kimia B_3), maupun limbah gas dan debu dari kegiatan *sand blasting*, serta kegiatan pengecatan.

6). Pabrik Baterai kering (yang menggunakan bahan baku mercuri (Hg)

Pada pabrik ini, mempunyai potensi menghasilkan limbah sebagai berikut :

- Padat (sludge B_3 , bekas kemasan)
- Limbah cair (Zn, Hg, Cr, COD, TSS, Mn dan NH_3)
- Limbah debu, disinyalir juga mengandung B_3 .
- Gas (H_2S, SO_2 , NO_x , CO, NH_3, Zn, Pb, dan Cd).

7). Pabrik Minyak dan Gas lepas pantai

Secara umum industry dibidang minyak dan gas meliputi kegiatan pengeboran, transpotasi minyak mentah (crude oil) maupun hasil, pabrik pengolahan (kilang), dan mempunyai potensi menghasilkan limbah yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

a). Kegiatannya meliputi tahap :

- Konstruksi anjungan
- Pelaksanaan pengeboran
- Operasi produksi/pengolahan (kilang)
- Pemeliharaan fasilitas
- Transpotasi minyak
- *Decommisionning*

b). Jenis limbah utama yang ditimbulkan :

- Buangan sisa pengeboran (*drill cutting*)
- Cairan pengeboran (*drilling fluid* atau *muds material*)
- Tumpahan minyak (oil spill)
- Asap Pembakaran (flaring smoke)
- Hasil air yang dipisahkan dari minyak mentah (*produced water*)
- Limbah sanitasi (sanitary wastes)
- Dan limbah lain-lain

Contoh kegiatan dibidang minyak dan gas, dan kemungkinan terjadinya limbah :

a). Konstruksi Anjungan dan Pengeboran

Menghasilkan limbah : drill cutting dan drilling mud/limpur bor. Sedangkan dampak yang terjadi antara lain berupa keracunan, terbentuknya PAH_s yang bisa terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup.

b). Operasi produksi dan pemeliharaan fasilitas.

Menghasilkan limbah: produced water yang mengandung minyak, logam dan bahan radio aktip (yang terkandung dalam reservoir. Sedangkan dampak yang terjadi, misalnya : minyak bisa melapisi bulu binatang laut dan logam dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh.

c). Transpotasi minyak dan kemungkinan terjadi tumpahan minyak (*oil spills*).

Menghasilkan limbah : bahan *antifouling* yang beracun terkandung dalam material cat kapal (pengangkut minyak), pencemaran yang berasal dari kegiatan operasional kapal, berupa : sampah padat, limbah cair, dan *ballast water*. Bisa juga terjadi kecelakaan transpotasi yang mengakibatkan terjadinya tumpahan minyak dan atau bahan kimia yang beracun dalam jumlah yang besar, baik di darat maupun di lautan.

Kejadian di atas dapat berdampak: meracuni biota laut, minyak akan melapisi bodi biota laut, dan dapat merusak ekosistem.

d). Penonaktipan (*Decommisioning*).

Setelah proyek ini dinonaktipan, maka limbahnya berupa : struktur anjungan yang ditinggalkan, sisa hidrokarbon (akibat kebocoran). Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya dampak, berupa perubahan ekosistem pada daerah disekitar struktur tersebut, kerusakkan lingkungan, dan keracunan biota laut akibat kebocoran sisa hidrokarbon.

2. STRATEGI PENGELOLAAN LINGKUNGAN (*CLEANER PRODUCTION*)

Dalam rangka upaya pelaksanaan pengelolaan lingkungan agar tercapai program produksi bersih (*cleaner production*), maka dapat ditempuh beberapa tindakan/strategi, antara lain :

a. Perubahan bahan baku.

Misal: pembuatan silica gel dengan bahan baku pasir silica menggunakan furnace peleburan yang bekerja pada suhu tinggi, dapat mengakibatkan terjadinya pencemaran udara, jika menggunakan bahan baku abu bagase kandungan silica kira-kira 50% dengan proses sol gel bekerja pada suhu rendah, tidak ada percemaran udara.

b. Perbaikan operasi dan *in housekeeping*.

Misalnya : di pabrik gula, alat penyaring lama pakai plate and frame filter (proses bad) mengakibatkan banyak ceceran cake (limbah padat), tapi dengan mengganti rotary vaccum filter (proses kontinyu) adanya ceceran cake dapat diminimalkan. Begitu pula dengan meningkatkan *in housekeeping*, dampak oleh adanya limbah cair dapat menurun.

c. Penggunaan kembali limbah.

Misalnya: di pabrik gula, menghasilkan limbah padat berupa ampas tebu (abu bagasse). Oleh pihak pabrik ampas tebu tersebut dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk sumber energy di ketel uap (boiler).

d. Perubahan teknologi.

Pada pembuatan soda dari garam (NaCl), teknologi lama menggunakan teknologi memakai Hg sebagai salah satu electrode pabrik soda Waru (lama), dan kini untuk memisahkan Na dikenal cara

baru menggunakan membrane (reverse osmosis), yang lebih sempurna, lebih ramah lingkungan. Sedangkan cara lama, menggunakan Hg yang termasuk B_3 (bahan beracun dan berbahaya). Bila tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan pencemaran lingkungan.

e. Perubahan produk.

3. PENGOLAHAN LIMBAH CAIR

Secara umum pengolahan limbah cair, terdiri dari : pengolahan pendahuluan, pengolahan primer, pengolahan sekunder

3.1. Pengolahan Pendahuluan

Dalam pengolahan pendahuluan dapat dilakukan :

1. Pemisahan padatan, dengan cara penyaringan kasar, pengendapan awal.

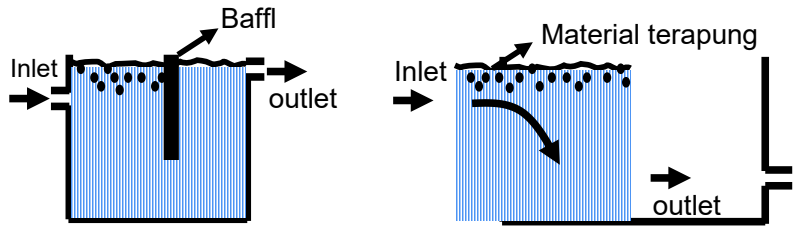
Gambar 1. Penyaringan kasar

Alat penyaringan kasar ini berfungsi untuk memisahkan sampah padat, terutama yang mengapung, seperti : plastik, kayu, daun, dan lain-lain. Alat ini beroperasi tidak kontinyu, sewaktu sampah sudah banyak menutup lubang saringan, maka saringan perlu dibersihkan dari sampah, kemudian dipasang kembali.

2. Pemisahan minyak dan buih; atas dasar gravitasi.

Alat pemisah minyak, buih ini dikenal dengan nama "*skimmer*", alat ini ada dua jenis, yaitu : *Skimmer* tanpa baffle, Gambar 1. (a), dan *skimmer* dengan *baffle,* Gambar 2.(b).

Gambar 1.(a), menunjukkan pada aliran masuk yang mengandung minyak/ buih, maka aliran/lapisan minyak akan tertahan, dapat dialirkan ke samping dan tepisah ke samping. Begitu pula untuk Gambar 1. (b), aliran masuk yang mengandung minyak lewat lubang bagian atas, sedang aliran air keluar lewat lubang bagian bawah, sehingga minyak/buih tidak bisa ikut keluar.



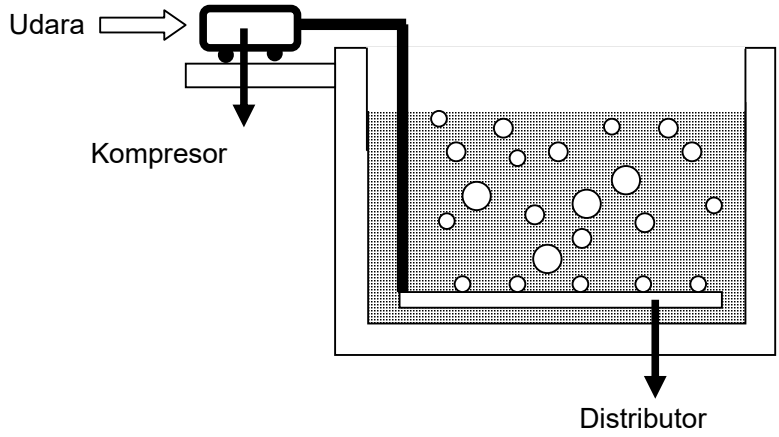
(a)
Skimmer
dengan baffle

(b)
Skimmer
dengan beda
elevasi

Gambar 2. Skimmer, (a) Dengan baffel dan (b) Tanpa baffle

3. Pre-Aerasi.

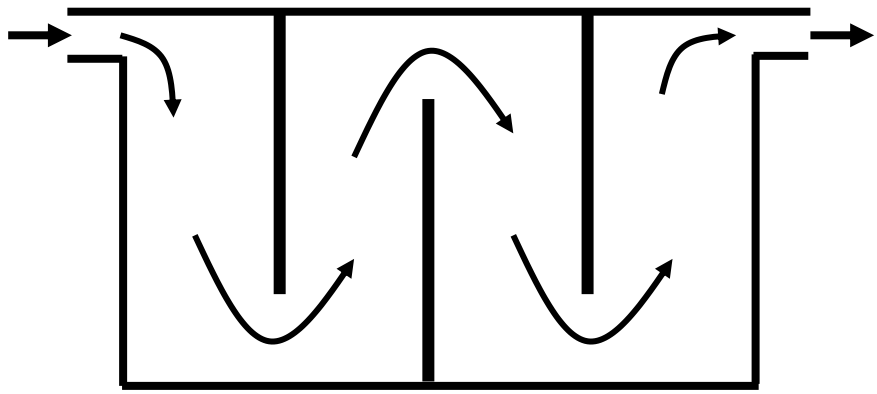
Pre-aerasi adalah suatu proses pengontakan udara tekan ke dalam air, berada dalam suatu bak, seperti terlihat pada Gambar 3. Proses pre-aerasi ini bertujuan untuk mengusir gas-gas yang terlarut, sekaligus menambah oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk proses biologis (mengoptimalkan proses selanjutnya).



Gambar 3. Pre-Aerasi

4. Pengendapan pendahuluan.

Setelah pemisahan minyak/buih, maka tahap selanjutnya adalah pengendapan pendahuluan, yaitu untuk memberi kesempatan mengendap bagi padatan yang mudah mengendap, dengan cara melewatkan aliran melalui saluran yang berkelok-kelok, seperti terlihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Bak Pengendap, saluran berkelok-kelok

3. 2. Pengolahan Primer

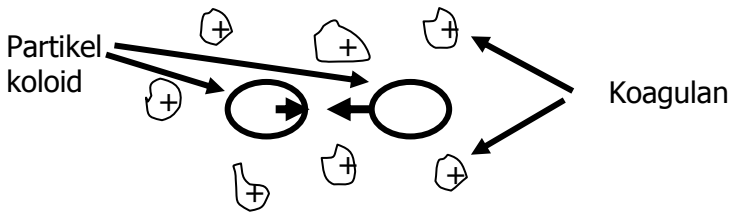
Pada pengolahan primer antara lain berupa proses:

3.2.1. Koagulasi – Flokulasi

Pengolahan limbah cair dengan proses kimia atau penambahan koagulan/flokulan, dimaksudkan untuk mengubah sifat anorganik yang terlarut menjadi tidak terlarut, atau terjadi flok. Proses koagulasi – flokulasi

bertujuan untuk menghilangkan partikel padat yang sulit mengendap, contohnya kolloid. Partikel koloid berukuran antara : 10^{-7} - 10^{-4} cm atau 10 – 10^4 ^oA . Partikel koloid mempunyai luas permukaan relatif lebih besar dibanding beratnya, sehingga tidak mudah mengendap.

Peristiwa koagulasi adalah penambahan bahan kimia (koagulan) kedalam dispersi koloid (partikel) sehingga terjadi destabilisasi partikel dan terbentuk gaya tarik antar partikel → terbentuk flok (gumpalan), dapat dijelaskan sebagai gambar berikut:

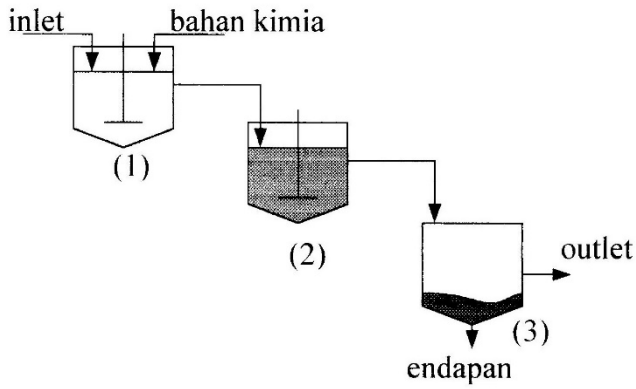


Gambar 5. Destabilisasi koloid

Pada dasarnya, proses koagulasi-flokulasi mengikuti 3(tiga) tahap pengolahan, yaitu :

1. Proses pemerataan koagulan serta pembentukan inti flok.
2. Proses flokulasi, atau proses pembentukan flok yang lebih besar lagi.
3. Proses pemisahan (sedimentasi) yaitu proses pemisahan flok yang terjadi.

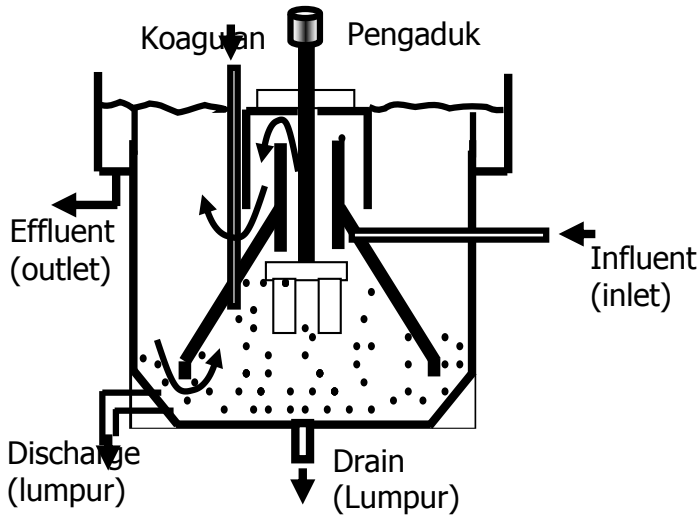
Tahapan proses dapat dilihat pada Gambar 6 berikut :



Gambar 6. Koagulasi – Flokulasi.

- Pada gambar di atas, pertama kali limbah cair yang mengandung partikel kolloid diberi koagulan dan diaduk dengan cepat (100-150 rpm) selama 2-3 menit sehingga koagulanulan terlarut merata dalam air limbah serta terjadi reaksi pembentukan inti flok.
- Pada bak kedua, pengadukan dilakukan perlahan-lahan (sekitar 10 rpm), sehingga memberi kesempatan pada flok bertumbukan dan membentuk flok yang lebih besar lagi. Untuk mempercepat pembentukan flok (gumpalan) serta mengatur keasaman (pH) dapat ditambahkan susu kapur $Ca(OH)_2$. Dan flok (gumpalan) yang terbentuk tersebut akhirnya diendapkan atau dipisah pada bak pengendap.

  Dalam perkembangan peralatan koagulasi-flokulasi, maka sudah dirancang peralatan yang kompak antara seksi koagulasi, flokulasi jadi satu, menjadi "Solid... ", sepertiterlihat pada Gambar 7. *Solid Contact Clarifier.*



Gambar 7. *Solid ContactClarifier.*(Contoh alat koagulasi-flokulasi).

A. Bahan-Bahan Sebagai Koagulan/Flokulan

Beberapa bahan kimia yang banyak digunakan sebagai koagulan/flokulan, antara lain :

a. Aluminium Sulfat (Tawas, A12(S04)3.18H2O)

Sifat-sifat Tawas :

- Bersifat asam (korosif)
- pH proses sekitar 5,5 - 7,6
- muatan flok positif pada pH 7,6 dan negatif pada pH 8,2
- membutuhkan alkaliniti dalam air
- kandungan A1203 sekitar 17% dengan kelarutan 86,9% per 100 bagian air pada 0°C.

Reaksi dari alum :

- alum bereaksi dengan alkiliniti dalam air

  $A1_2(S0_4)3.18H_20 + 3CaC0_3.H_2C0_3 \leftrightarrow H\ 2A1(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6\ CO_2 + 18\ H_20$

  Bila dalam air kadar alkaliniti kurang atau kecil, maka dibutuhkan penambahan soda ash atau lime.

Alum + soda ash, reaksinya adalah :

- $A1_2(S0_4)_3.18H_20 + 3\ Na_2C0_3 + 3\ H_2O \leftrightarrow 2\ A1(OH)_3 + 3\ Na_2SO_4 + 3\ CO_2 + 18\ H_20$

  Alum + lime, reaksinya adalah :

  $Al_2(SO_4)_3\ 18\ H_20 + 3\ Ca(OH)H \leftrightarrow A1(OH)_3 + 3\ CaSO_4 + 3\ CO_2 + 18\ H_20$

b. Ferro sulfat ($FeSO_4.7H_20$)

Sifat :

- Membentuk flok > dari flok dengan alum
- Efektif pada pH operasi antara 4 - 9
- Membutuhkan alkaliniti dan penambahan $Ca(OH)_2$

Reaksi :

- $FeSO_4.7\ H_20 + CaC0_3.\ +\ HC03\ H \leftrightarrow FeSO4.H_2C0_3 + CaSO_4 + 7H_2O$
- $FeSO_4.H_2C0_3 + 2Ca(OH)_2 \leftrightarrow HFe(OH)_2 + 3\ CaCO_3 + 2H_2O$

- $Fe(OH)_2 + H_20 + ½O_2 H \leftrightarrow Fe(OH)_3 + OH^-$

c. Ferric sulfat ($Fe_2(So_4)_3$)

Sifat :

- Bersifat korosit
- Tidak membutuhkan penambahan $Ca(OH)_2$
- Mudah bereaksi dengan natural alkaliniti dalam air. Reaksi :

  $Fe_2(So_4)_3 + 3CaCO_3.H_2CO_3 \leftrightarrow 2\ Fe(OH) + 3\ CaSO_4 + 6\ Co_2$

d. Sodium Aluminat ($NaAlO_2$)

e. Ferric Chloride ($FeC1_3$)

f. Potasium Alum ($A1_2(So_4)_3.K_2SO_4.24H_20$)

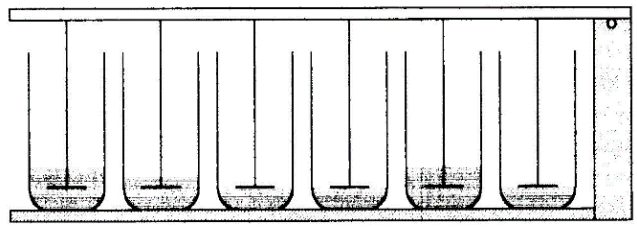
g. Polyaluminium khlorida (PAC, $[Al_2(OH)_nC1_{6n}]_m$)

Dimana I <n<Sdanm< 10

- Daya koagulasi lebih kuat
- Range pH lebih luas
- Tidak terjadi kekeruhan walau dosis berlebih
- Bereaksi lebih cepat
- Aktifitas tidak terpengaruh suhu
- Tidak membutuhkan flokulan pembantu (flocculant acid)

B. Penentuan Dosis Bahan Kimia

Untuk menentukan banyaknya kebutuhan bahan kimia (koagulan/flokulan) untuk jenis limbah cair tertentu, dilakukan uj i test menggunakan Jar-Test.



Gambar 8. Jar Test

Pada 6 buah glass piala 1000 ml, ditambahkan air limbah dengan volume yang sama. Kemudian pada waktu yang bersamaan, ditambahkan larutan flokulan dengan berbagai dosis. Pengadukan cepat (100 - 150 rpm) dilakukan selama 1- 3 menit, diikuti dengan pengadukan lambat (10 rpm) selama 3 -5 menit. Setelah pengadukan lambat, pengadukan dihentikan dan flok yang terbentuk dibiarkan mengendap sampai diperoleh filtrat yang jernih.

Filtrat dari setiap gelas piala, dianalisa tingkat kekeruhan atau turbiditi, sehingga dapat diperkirakan konsentrasi atau dosis bahan kimia yang dibutuhkan per liter contoh, yaitu dosis dimana diperoleh tingkat turbiditi terendah.

3.2.2. Proses Kimia (Reaksi Kimia)

Salah satu kasus yang menarik dalam proses pengolahan air limbah dengan proses kimia adalah dari kegiatan pelapisan listrik. Pada proses pelapisan listrik, baik pelapisan chrom, emas, copper dan sebagainya, parameter utama adalah kandungan logam berat seperti Cr(VI), Cd, Pb, Zn dan lainnya serta non logam CN.

Untuk logam-logam berat seperti Cd, Pb, Hg dan lain-lain, proses pengolahan dapat dilakukan langsung dengan penambahan flokulan serta pengaturan pH. Tetapi untuk jenis logam berat Cr(VI) dan CN membutuhkan pengolahan yang lebih spesifik.

Sebagai langkah awal dalam pengolahan dengan proses kimia yang harus diketahui adalah sifat dari parameter pencemar Cr(V I) dan CN tersebut, yaitu:

Sifat CN

- Toxic
- Pada suasana asam (pH < 6) dapat bereaksi menjadi asam cyanida HCN
- HCN : gas, tidak berwarna, tidak berbau tetapi sangat beracun.
- CN dapat diuraikan menjadi CO_2 dan N_2 pada pH > 8.

Sifat Cr(VI)

- Toxic
- Sangat terlarut dalam air
- Dapat direduksi menjadi Cr(III) pada pH 2-4
- Cr(III) dapat dioksidasi menjadi $Cr(OH)_3$
- $Cr(OH)_3$ sangat tidak terlarut pada pH > 7

Dari sifat-sifat diatas, untuk pengolahan limbah cair yang mengandung Cr(IV) dan CN, proses pengolahan sebaiknya terpisah dimana untuk CN memerlukan suasana basa sementara reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) pada suasana asam. Hal itu sangat penting dengan tujuan untuk menghindari terbentuknya HCN yang sifatnya tidak berwarna, tidak berbau tetapi sangat beracun sehingga dapat membahayakan operator di instalasi pengolahan air limbah (IPAL).

Pemisahan proses pengolahan dimungkinkan apabila sejak dari ruang proses, aliran limbah cair untuk Cr(VI) telah dipisah dengan aliran untuk limbah cair CN atau yang disebut sebagai tahap inhouse keeping.

Contoh Proses Kimia

1. Proses Pengolahan Cr(VI)

   Sebagai bahan pereduksi (reducing agent) dapat digunakan $FeSO_4$, Na_2SO_4 atau So_2.

   Reaksi reduksi

   Dalam air, Cr(VI) terlarut sebagai H_2CrO_4

   a. $6\ H_2Cro_4 + 6\ FeSO_4 + 6\ H_2O \rightarrow 3Cr_2(So_4)_3 + 3\ Fe_2(So_4)_3 + 8\ H_2o$

   b. $Na_2S_2o_5 + H_2o \rightarrow 2\ NaHSo_3$

      $2H_2Cro_4 + 3\ NaHSO_3 + 3\ H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(So_4)_3 + 3\ NaHSO_4 + 5\ H_2o$

   c. $So_2 + H_2o \rightarrow H_2So_3$

      $2H_2Cro_4 + 3\ H_2So_3 \rightarrow Cr_2(So_4)_3 + 5\ H_2O$

   Reaksi Oksidasi dengan $Ca(OH)_2$ atau NaOH

   a. $Cr_2(So_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2\ Cr(OH)_3 + 3\ CaSO_4$

b. $Cr_2(SO_4)_3 + 6\ NaOH \rightarrow 3\ Na_2SO_4 + 2\ Cr(OH)_3$ ( )

Begitu juga dengan $Fe(So_4)_3$ akan mengendap sebagai Fe(OH); bersama-sama $Cr(OH)_3$, $CaSO_4$ maupun Na_2SO_4. Reaksi reduksi dan oksidasi dari Cr(VI) disebut juga sebagai reaksi Redox.

2. Proses Pengolahan CN

a. Dalam ozon pada pH antara 6-10

$CN^- + 20_3 \rightarrow CNO^- + 3\ O_2$

b. Dengan KMN04 pada pH 12-14 (pada pH 6-12 dapat terbentuk cyanogens yang sangat toxic).

- bila pada pH 6-12

  $HCN + CN\ H \rightarrow 2\ H(CN)$

  $Mn0_4^- + H(CN)_2 \rightarrow (CN)_2 + H^+ + Mn0_4^{3-}$

  $3\ Mn0_4^{3-} + 4\ H2O \rightarrow 2\ KMn0_4 + MnO_4^- + 8\ OH^-$

- bila pada pH 12 - 14

  $Mn04^- + CN- \rightarrow MnO_3^- + CNO$

  $Mn0_3^- + Mn0_4^- + 20H^- \rightarrow 2\ Mn0_4^- + H_2O$

  Reaksi-reaksi diatas menggunakan NaOH atau KOH untuk mengatur pH, bila $Ca(OH)_2$ yang digunakan :

  $2\ Mn04^- + 3\ CN^- + H_20 \rightarrow 3\ CNO^- + 3\ MnO_2 + 2\ OH$

c. Alkaline khlorinasi pada pH ≥ 10 seperli Cl_2 atau NaOCI

$CN^- + C1_2 + NaOH$ à$CNO^- + 2\ NaCI + H_20$

$CN^- + NaOCI$ à $CNO^- + NaCI$

(pada pH < 10, dapat terbentuk cyanogens khlorida CNCI yang sangat toxic, dimana pada pH >I 0, CNCI akan segera terhidrolisa)

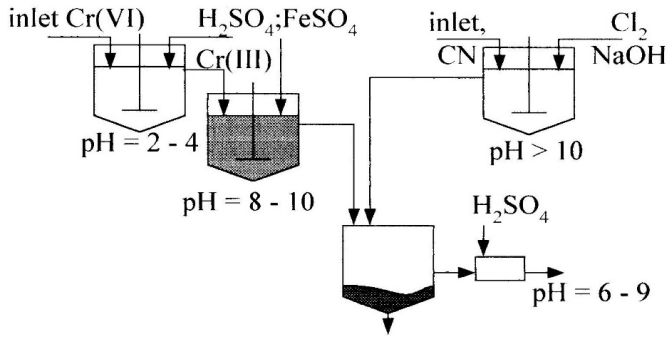
CNO^- dari reaksi a, b, maupun c disempurnakan dengan reaksi oksidasi CNO^- dengan penambahan Cl_2 atau NaOCI yang berlebih, sehingga terjadi reaksi :

$CNO^- + 3\ C1_2\ 6\ NaOH$ à$2\ HCO_3^- + N_2 + 6\ NaCI + 2\ H_20$

$CNO^- + 3\ Ocl^- + H_2O$ à $N_2 + 2\ HC03 + 2C1$

Cyanate juga bersifat toxic tetapi jauh lebih rendah dibanding cyanida. Dari sifat-sifat kimia kedua bahan di atas serta sifat reaksi yang terjadi, proses kimia untuk pengolahan limbah cair dengan parameter utama Cr(IV) dan CN dapat dilakukan seperti pada gambar berikut :

inlet Cr(VI)



Gambar 9. Pengolahan Cr(V I) dan CN

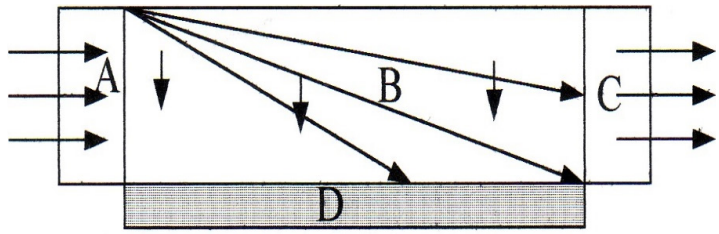
3.2.3. Sedimentasi

Tujuan dari sedimentasi adalah memisahkan padatan yang tidak larut dalam air, baik dalam bentuk dispersi maupun bentuk suspensi. Untuk padatan ukuran halus, dibutuhkan penambahan koagulan supaya mudah mengendap, sedangkan padatan ukuran besar dapat mengendap dengan sendirinya (gravitasi) asalkan waktu untuk proses pengendapan tersebut cukup. Pengendapan dengan penambahan koagulan maupun pengendapan secara natural, dilakukan pada bak sedimentasi. Untuk menentukan tingkat keberhasilan proses sedimentasi, bak sedimentasi atau settling basin dapat dibagi menjadi 4 (empat) zone, lihat Gambar 10, yaitu:

a. Zone inlet atau zona dimana arus feed yang mengandung padatan masuk
b. Zone pengendapan atau zone settling, yaitu zona dimana padatan memperoleh kesempatan untuk mengendap selama

air mengalir.

c. Zona outlet yaitu zona effluent atau zona pengeluaran
d. Zona lumpur atau zona dasar, yaitu zona dimana padatan yang telah mengendap dikumpulkan, sebelum dialirkan atau dipompa keluar.



Gambar 10. Bak Sedimentasi

3.3. Pengolahan Sekunder (Proses Biologis)

Prinsip dasar yang digunakan pada proses biologis sebetulnya meniru proses yang terjadi secara alamiah di sungai seperti yang diuraikan pada pendahuluan, yaitu pertumbuhan/pembiakan mikrobiologis pengurai di sumber air (sungai) yang akan mengambil unsur karbon (C) yang ada dalam senyawa organik, menyebabkan bahan organik tersebut teroksidasi atau terurai. Dengan terurainya bahan organik berarti tingkat pencemaran (diukur dengan parameter BOD5 dan COD) juga akan tereduksi (turun).

Berarti pada sistem biologis ini, kita harus mampu menumbuhkan mikrobiologis sesuai dengan tingkat pencemaran dari limbah cair (kadar BODs). Untuk limbah cair dengan tingkat BOD5 ≤ 2500 mg/liter, dapat digunakan sistem Aerobik, yaitu menumbuhkan mikrobiologi jenis yang membutuhkan oksigen. Untuk limbah cair dengan tingkat BOD5 ≥ 2500 mg/liter, dapat digunakan sistem Anaerobik, yaitu menumbuhkan mikrobiologi jenis tertentu yang tidak membutuhkan oksigen.

3.3.1. Proses Aerobik

Seperti diuraikan sebelumnya, pada sistem ini untuk pertumbuhan mikrobiologis membutuhkan unsur karbon (C) yang dapat diperoleh dari kandungan bahan pencemar organik (terdiri dari C, H dan 0) dan

oksigen yang diperoleh dengan penambahan udara menggunakan Aerator pada aerasi.

Pada bak aerasi, mikrobiologis ditumbuhkan sehingga dalam pertumbuhannya ia akan mengambil unsur karbon (C) pada rangkaian senyawa organik, dan diuraikan menjadi :

cell(biologis) + C + a.02-> a. cell baru +C02+ HzO.

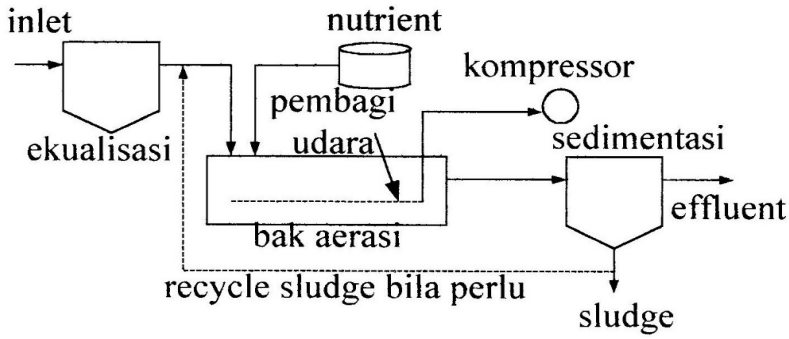
Dari reaksi di atas, terbentuk cell yang baru (tumbuh) dan seterusnya, cell baru ini kembali akan umbuh dan mengambil unsur C dari bahan organik, sehingga bahan organik akan terurai dan tingkat pencemar (sebagai BODs) dapat direduksi. Pada jumlah yang besar, cell baru yang terbentuk akan menggumpal sebagai MLSS(Mixed Liqour Suspended Solid) atau Biomass sehingga dapat dipisahkan pada bak sedimentasi. Sebagaimana layaknya makhluk hidup, untuk pertumbuhannya bakteri memerlukan suasana lingkungan yang sesuai dengan keinginannya seperti unsur C dan 02 yang cukup dan tidak berlebih, serta tersedianya makanan tambahan (nutrient). Nutrient yang diperlukan meliputi N dan P, oleh karena itu pada proses biologis aerobik, selain oksigen juga dibutuhkan penambahan nutrient. Dilihat dari sifat biomass, proses biologis aerobik dibagi menjadi 2 (dua)jenis proses, yaitu :

1. Proses aerobik tersuspensi

Yaitu proses biologis, dimana biomass yang terbentuk akan tersuspensi dalam aliran limbah dan ikut keluar dari bak aerasi bersama alairan limbah tersebut menuju ke bak pemisah (sedimentasi). Yang termasuk dalam proses ini meliputi :

a. Proses lumpur aktif

Dalam proses ini menggunakan lumpur yang mengandung bakteri yang aktif, yang siap untuk memakan makanan yang terkandung didalam air limbah, yang sebagian besar berupa bahan organik. Untuk lebih jelasnya proses terserikut.dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 11. Proses biologis aerobik.

Pada sistem lumpur aktif (*activated sludge*), biomass (bakteri) ditumbuhkan dalam bak aerasi dan kemudian dipisah dari air bersih pada sedimentasi. Sebagian dari lumpur (*sludge*) umumnya dikembalikan ke bak aerasi dengan tujuan untuk mengatur agar konsentrasi biomass dalam bak aerasi jumlahnya sesuai dengan besarnya kandungan senyawa organik yang harus direduksi. Umumnya MLSS di bak aerasi dijaga antara 2000 - 5000 mgll dan oksigen terlarut dijaga jangan sampai lebih rendah dari 2 mg/1. Modifikasi proses lumpur aktif dapat dilakukan berdasarkan pembebanan organik dan waktu aerasi seperti:

- High Rate Activated Sludge

  Yaitu proses lumpur aktif dengan pembebanan tinggi, yaitu antara 0,5 - 2 kg BOD_5/kg MLSS/hari dengan waktu aerasi sekitar 1- 3 jam. Reduksi parameter BOD antara 60 - 80%.

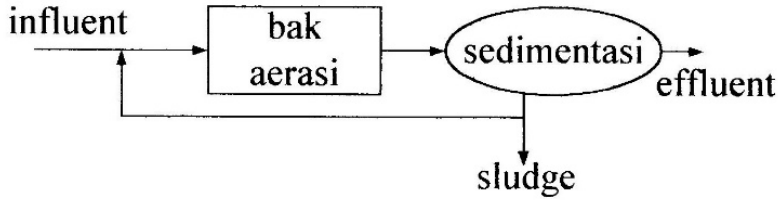
- Standard Rate Activated Sludge

  Yaitu proses lumpur aktif dengan pembebanan sedang, yaitu antara 0,2 - 0,5 kg BOD_5 /kg MLSS/hari dengan waktu aerasi sekitar 4 - 12 jam. Reduksi parameter BOD antara 85 - 90%.

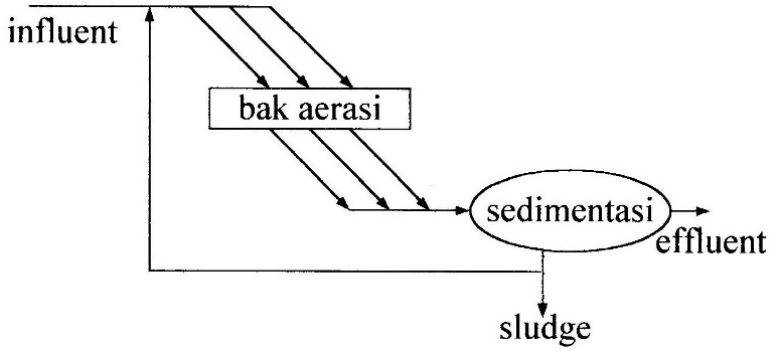
- Extended Aeration

  Yaitu proses lumpur aktif dengan pembebanan rendah, yaitu antara 0,05 - 0,2 kg BOD5/kg MLSS/hari dengan waktu aerasi sekitar 16 - 36 jam. Reduksi parameter BOD mencapai 98%.

Disamping itu, klarifikasi proses lumpur aktif juga dapat dibedakan pada sistem pemasukan air limbah dan cara pengendalian Lumpur, seperti pada gambar berikut:

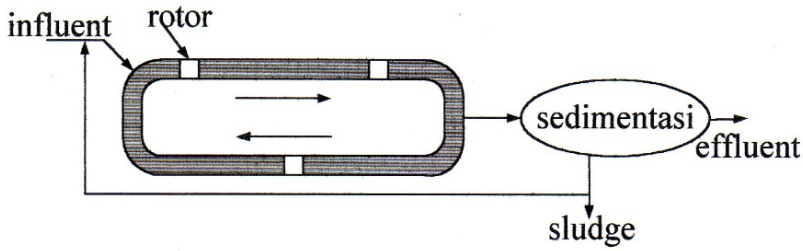


Gambar 12. Lumpur aktif konvensional



Gambar 13. Lumpur aktif pengadukan lengkap

b. Sistem selokan oksidasi (Oxydation ditch) influent rotor



Gambar 14. Oxydation ditch

Seperti yang digunakan di kawasan industri SIER di Surabaya dan IPAL pengolahan tinja Kodya Surabaya di Sukolilo Surabaya. Pada sistem ini, proses aerasi diperoleh dengan menggunakan motor yang ditempatkan pada beberapa titik yang cukup jauh, sehingga selain terjadi proses aerasi juga terjadi proses nitrifikasi yang diikuti proses denitrifikasi.

$NH_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO_3$

$NO_2 \rightarrow N_2$

Rotor disini selain untuk memberi oksigen, juga berfungsi untuk mendorong aliran air. Sistem selokan oksidasi umumnya digunakan untuk limbah cair dengan kandungan BOD tidak terlalu tinggi, seperti untuk mengolak limbah domestik, tinja dari septic tank dan kawasan industri. Air limbah dalam selokan oksidari dialirkan memutar sambil diberi udara pada beberapa titik sehingga terbentuk biomass (mikroba aktif). Waktu pemutaran aliran umumnya selama 24 jam, sebelum dialirkan ke bak pengendap untuk memisah lumpur.

c. Lagoon

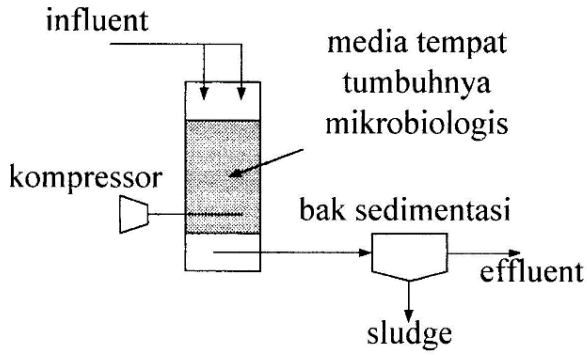
Penggunaan lagoon untuk mengolah limbah cair organik merupakan proses yang termurah dalam biaya operasi, namun membutuhkan lahan yang luas serta dapat timbul masalah bau yang dapat mengganggu lingkungan sekitarnya. Pada lagoon aktifitas biologis terjadi aerobk dan anaerobik, yaitu pada siang hari terjadi proses photosintesa algae karena masuknya sinar matahari, sementara pada malam hari proses photosintesa berkurang dan lumpur yang mengendap akan mengalami dekomposisi anaerobik.. Sistem lagoon membutuhkan kedalaman sekitar 0,9 - 1,5 m. Endapan dari Lumpur biomass secara berkala harus dikuras dengan maksud agar waktu tinggal air di lagoon tidak berkurang. Waktu tinggal yang dibutuhkan untuk proses ini mencapai I minggu atau lebih.

Untuk mendapatkan proses aerobik sepanjang waktu, lagoon kadangkala dilengkapi dengan surface aerator atau dinamakan juga Aerated Lagoon. Sistem ini baik digunakan untuk menghindari proses anaerobik yang membentuk gas dan bau yang kurang enak.

2. Proses Aerobik Melekat

Berbeda dengan proses biologis tersuspensi, pada proses ini biomass yang terbentuk tetap tinggal dalam unit proses. Mikroorganisme ditumbuhkan pada permukaan media, dengan demikian hanya sebagian kecil dari biomass yang akan terbawa keluar bersama aliran air limbah. Yang termasuk dalam proses pertumbuhan melekat meliputi :

a. Sistem saringan tetes (*trickling filter*)



Gambar 15. Trickling Filter

Media yang terbuat dari serpihan batu, atau sejenis packing plastik disusun sampai dengan ketinggian 40 ft dengan beban hidrolik sampai dengan 4 gaUftz/menit. Mikroorganisme akan tumbuh dan berkembang pada permukaan media, yang terbagi menjadi 2 (dua) zona, yaitu :

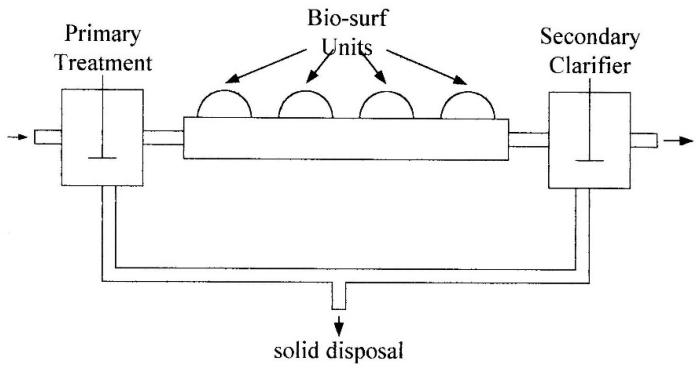
- Zona aerobik, dimana penetrasi oksigen masih terjadi.

  Zona aerobik ini pada ketebalan 50 - 100 µm dari permukaan film.

- Zona anaerobik

b. Rotating Biological Contractor (RBC)

Kontraktor biologis berputar ini analog dengan saringan tetes berputar (rotating trickling filter). Peralatanini terdiri dari contactor yang berupa silinder berputar dengan permukaan merupakan media tempat tumbuhnya biologis dan terpasang pada sumbu horizontal dalam suatu tangki. Bio-surf



Gambar 16. Rotary Biological Contactor

Putaran contactor sekitar 2 - 5 rpm dan sekitar 30 - 40% contactor tercelup dalam air limbah. Lapisan biologis terbentuk pada permukaan cakram/silinder sama halnya dengan pertumbuhan mikrobiologid pada permukaan media saringan tetes.

Pada saat cakram terendam, lapisan mikroba akan mengambil (memakan) bahan organik, dan pada saat berputar cakram membawa limbah ke udara yang akan menetes pada permukaan cakram dan lapisan mikroba mengambil oksigen. Disamping itu, pada saat cakram terendam, gaya gesek air menyebabkan lapisan biomass yang berlebihan akan lepas dari permukaan media dan tersuspensi ke dalam air.

Biomass selanjutnya dipisah di bak sedimentasi. Media merupakan high-density-prophylene mempunyai spesifik permukaan 37 ft2/ft3. Satu unit contactor dapat mencapai ukuran sampai dengan diameter 12 ft cl 25 ft panjang dan mengandung 100.000 ft2 luas permukaan dalam satu seksi.

3.3.2. Proses Anaerob

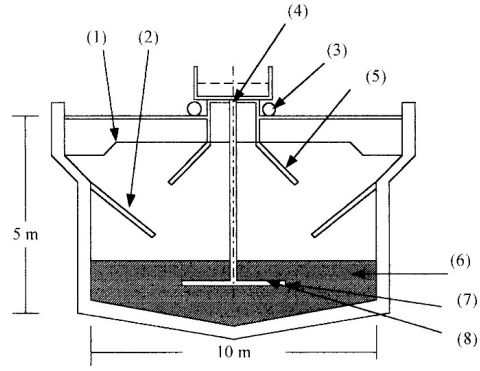
Tidak banyak perbedaan mendasar mendasar tahapan proses aerobik dengan proses anaerobik, kecuali pada jenis mikroba yang digunakan.

Pada proses anaerobik, tidak diperlukan penambahan udara (oksigen) dan justru dihindari masuknya oksigen. Pertumbuhan bakteri anaerobik, akan menghasilkan gas methan yang dapat digunakan sebagai bahan bakar :

Cell + organik --> cell baru + CH_4 + CO_3

Proses anaerobik sangat baik digunakan untuk mengolah air limbah yang membawa kandungan pencemar (sebagai BOD5) tinggi, seperti pada industri tepung tapioca, alcohol serta dimana BOD5 mencapai 10000 mg/1. Untuk mendapatkan hasil akhir yang memenuhi ketentuan BML limbah cair, proses anaerobik seringkali dipakai sebagai pengolahan pertama yang diserie dengan pengolahan secara aerobik.

Salah satu anaerobik yang banyak digunakan adalah Upflow Anaerobik Sludge Blanket (UASB). UASB inbi merupakan tangki tertutup dengan ketinggian sampai 4 meter atau lebih.



Keterangan:

(1) effluent oeverflow weir

(2) gas seal

(3) gas collecting pipe

(4) distribution pipe inlet

(5) gas bowl

(6) sludge bed

(7) distribution pipe

(8) feed inlet

Gambar 17. Upflow Anaerobik Sludge Blanket

Limbah cair masuk dari dasar tangki, kemudian mengalir ke atas melewati sludge blanket (lapisan sludge) yang merupakan kumpulan mikroorganisme, dimana bahan organik diuraikan secara anaerobik

menjadi gas bio dan mikroorganisme baru yang akan menambah konsentrasi sludge blanket.

Efisiensi proses UASB antara 50 - 80% sehingga effluent yang keluar dari keluar UASB masing-masing BOD 20 -50%, sehingga masih diperlukan pengolahan lanjut pada proses biologis aerobik. Waktu tinggal hidrolik cukup pendek, yaitu 4 - 12 jam.

3.4. PENGOLAHAN TERSIER

Secara umum pengolahan tersier jarang dijumpai . Sebenarnya pengolahan ini merupakan pengolahan lanjutan, seandainya hasil pengolahan sebelumnya masih belum memenuhi baku mutu yang ditentukan.

Contohnya yaitu penggunaan air untuk keperluan proses pembuatan kristal sorbitol. Agar hasil kristal sorbitol bagus memenuhi standart pasar, maka kadar Fe didalam air proses yang digunakan harus nol/mendekati nol. Untuk mendapatkan air sesuai kebutuhan tersebut, salah satunya dapat digunakan membran (reverse osmoses / r.o.).

Dasar pemikiran penggunaan membran ini, dapat dilihat info pada tabel 1 berikut (halaman berikutnya).

Secara umum, penerapan membran R.O. (teknologi membran) ini dapat diaplikasikan untuk memperoleh air yang digunakan untuk keperluan sebagai berikut :

- Air umpan boiler
- Air proses
- Air pendingin
- Air dengan kemurnian tinggibran

Tabel 1. Karakteristik hasil kualitas air setelah melewati membran (*RO Membrane*).

Item	Parameter	Value
Suspended Solid	SDI Turbidity Iron Manganase	<5 >1 NTU <0.05 mg/L <0,5 mg/L
Organics	TOC	10-15 mg/L
Dissolved Solid	LSI Barium Strontium	<1* <0.05 mg/L <0,1 mg/L

*in concentrate

4. PENGOLAHAN LIMBAH GAS

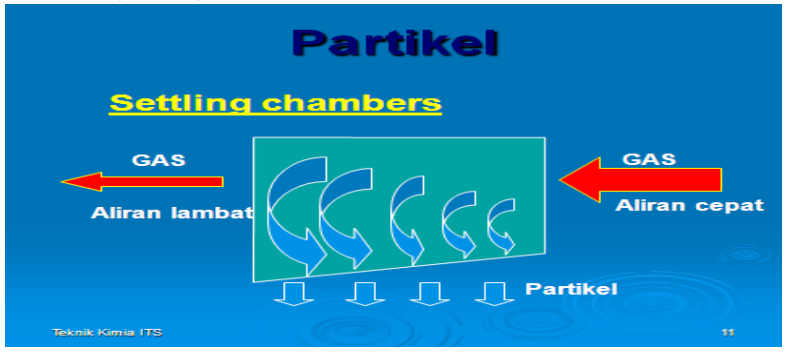
4.1. Pengolahan limbah gas

Limbah gas bisa berupa padatan (partikulat) dan gas (senyawa kimia).

a. Sumber polusi partikulat adalah : pengolahan kayu, penambangan/penggalian batu-batuan, pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batubara, industry semen, pupuk, dan kegiatan lain-lain.

Pengendalian polusi secaca mekanik adalah sebagai berikut :

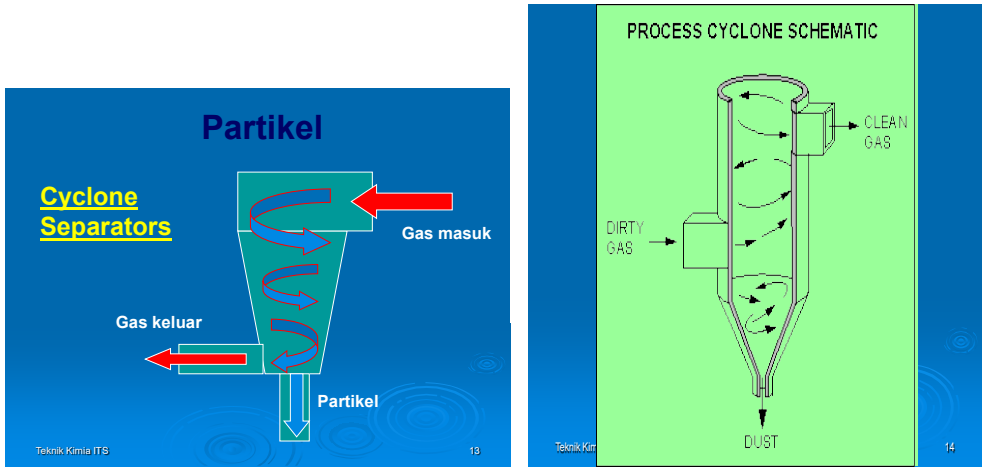
1). Ruang pengendap (*settling chamber*)



Gambar 18. Ruang pengendap (*settling chamber*)

2). Siklon (separator)

Siklon, paling banyak digunakan, harganya murah, mudah diterapkan.



(a) (b)

Gambar 19. Skema aliran udara di siklon (a) dan (b)

Keunggulan penggunaan *cyclone* , antara lain :

- Tidak begitu mahal
- Terdapat komponen yang terpisah
- Tahan untuk penggunaan pekerjaan kasa

Kekurangan Penggunaan *cyclone* adalah :

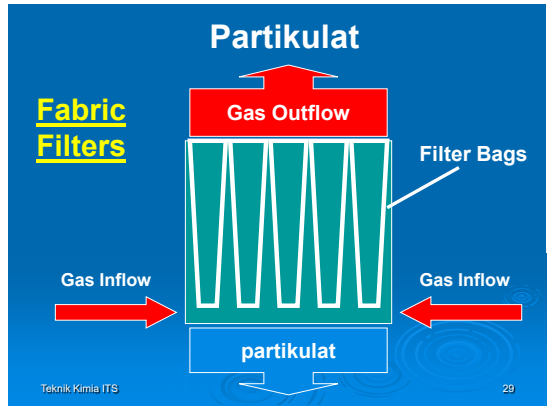
- Effisiensi sedang
- Biaya operasi tinggi, akibat adanya *pressure drop*

c). Filter kain (*baghouse*).

Kain terpal yang digunakan sebagai filter harus kuat, miripdengan bahan celana jean, tapi bisa dilewati gas/udara, sehingga debunya akan tertahan difilternya. Contoh filter kain :

Alat Pemisah Partikulat *Filter Bags doubel Gas Inflow*.

Dalam alat Pemisah Partikulat *Filter Bags doubel Gas Inflow* ini, aliran gas masuk lewat bagian bawah melewati dua saluran, sedangkan partikel keluar lewat bagian bawah untuk partikel yang relatif besar dan untuk partikel kecil lewat bagian atas.



Gambar 20. Alat Pemisah Partikulat Filter Bags doubel Gas Inflow.

Filter Kain (*Baghouse*)

- Prinsip kerja sama dnegan *vacuum cleaner*
- Udara dapat ditiup (*blown trhough*) atau dihisap (*pulled through*)
- Bahan kantong bervariasi sesuai dengan karakter *exhaust*

5. PENGELOLAAN (Penanganan) LIMBAH PADAT.

Beberapa contoh sumber limbah padat dan upaya penanganaannya:

a. Limbah padat yang berasal dari kegiatan pengolahan air, dengan bahan baku air sungai, yaitu pengendapan pendahuluan, maupun hasil pengendapan setelah proses koagulasi flokulasi. Bila limbah padat ini tidak mengandung B_3 , maka limbah padat ini dapat digunakan untuk tanah urug atau untuk keperluan lain yang aman. Sedangkan bila limbah padat tersebut mengandung bahan B_3 , maka perlu penanganan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

b. Limbah padat dari kegiatan pabrik gula, antara lain menghasilkan bagasse (ampas tebu), yang dapat digunakan sebagai bahan bakar di unit ketel uap, dan dapat menghasilkan limbah padat berupa abu bagasse yang kandungan silikanya relatif tinggi (kira- kira 40 – 50 %). Karena kandungan silika inilah abu bagasse dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan silika gel atau dapat digunakan sebagai bahan tambahan di pabrik semen.

c. Limbah padat yang berasal dari pabrik pengalengan ikan, misalnya berupa : kulit kepiting, kepala udang, sisik ikan dan lain – lain, dapat digunakan sebagai bahan baku tambahan pada pabrik pakan ternak setelah mengalami proses pencucian, pengeringan, dan penumbukkan (dibuat bubuk).

d. Limbah padat berupa: logam, gelas, dan sejenisnya, baik dari rumah tangga atau pabrik, dapat didaur ulang, dilebur lagi pada pabrik yang sejenis.

e. Limbah padat yang termasuk B_3 , misalnya sisa obat-obatan (limbah dari rumah sakit), limbah pabrik yang termasuk mengandung logam berat, dan dapat dibakar, maka dapat dimusnahkan/ dimanfaatkan, dimasukkan ke dalam insenerator/kiln.(namun demikian, untuk mengoperasikan alat incinerator harus mendapat ijin pihak instansi terkait), atau harus dibuang ke tempat yang telah disepakati, misalnya TPL (tempat pembuangan limbah) di Cilengsi – Bogor Jawa Barat.

f. Contoh lain limbah padat (*sludge*) dari pabrik pengolahan tembaga di Gresik – PT. Smelting, yang setelah diteliti mengandung besi, silikat, dan lain-lain (termasuk B_3), ternyata dapat digunakan sebagai bahan baku/tambahan di pabrik semen.

g. Dan untuk limbah plastik, limbah kertas dapat didaur ulang.

6. PENUTUP

Demikian makalah ini kami susun, mudah-mudahan ada manfaatnya.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim., 2017. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017.

Aprilion, R., Antaresti.,dan Adriana A, .2015. Enurunan Kekeruhan Air Oleh Biji Pepaya , Biji Semangka Dan Kacang Hijau. Jurnal Imiah Widya Teknik. Vol.14 No.1.

Davis, M.L. dan D.A. Cornwell. 1991. Introduction to Environmental Engineering. McGraw-Hill Inc., Singapore

Effendi, H. 2000. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor

Hammer, M.J. 1986. Water and Wastewater Technology. Prentice-Hall Int. Inc., New Jersey.

Health Canada.(2012). Guidelines for Canadian drinking water quality: guide Berau, Healty Enviroments and Consumer Safty Branch, Health Canada.

Jiang, J.Q., dan Graham N.J.D. 1998. Pre-polymerised Inorganic Coagulants and Phosporus removal by Coagulation - A Review. Water SA 24, 237 – 244.

Marieanna, ST, (2013).“Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu X”, Lembaga Penelitiandan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan.

Nathanson, J.A. 1997. Basic Environmental Technology. Water Supply, Waste Management, and Pollution Control. Prentice-Hall Inc., New Jersey.

Pritchard, M; Mkandawire, T;Edmondson, A;O’Neill, J.G and Kululanga, G (2009) potential of using plant Extracts for purification of Shallow well water in Malawi.physics and Chemistry of the Earth, 34: 799-8

Priyono, Citri T. S, Yuliani, E. Sayekti . R.W (2013). Studi penentuan status mutu air di sungai surabaya untuk keperluan bahan baku air minum. Jurnal Teknik Pengairan, Vol 4. No 1. Hlm 53-60

Soetedjo J., Kristianto H. dan Kurniawan M. 2017. Kajian Penggunaan Biji Pepaya (Carica Papaya L.) sebagai Koagulan Alami dalam Pengolahan Berbagai Jenis Air Limbah, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Suripin. 2002. Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Yogyakarta: Penerbit Andi

Wenbin, L., H. Hongshan, dan P. Jianguo. 1999. Application of Poly Aluminium Chloride in Shenzhen Water Supply – China. Los Alamos National Library.

Yongabi, K.A;Lewis, D.M and Harris, P.L (2011) Application of Phytodisinfectants in Water treatment in rural Cameroon.African Journal of Microbiology Research, Vol.5 (6) pp 628-635

Zaman, B.2018.Potential of Natural Flocculant in Coagulation – Flocculatoin Wastewater Treatment Process.ICENIS 2018.