

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Gula dan Bahan Baku

2.1.1 Gula

Gula adalah suatu karbohidrat sederhana yang dibuat dari cairan tebu, dimana gula menjadi sumber energi dan komoditi perdagangan utama. Gula paling banyak diperdagangkan dalam bentuk kristal sukrosa padat. Gula digunakan untuk mengubah rasa menjadi manis dalam keadaan makanan maupun minuman (Wahyudi, 2013).

Gula sebagai sukrosa diperoleh dari nira tebu, bit gula, atau aren. Meskipun demikian, terdapat sumber-sumber gula minor lainnya, seperti kelapa. Sumber-sumber pemanis lain, seperti umbi dahlia, anggur, atau bulir jagung, juga menghasilkan semacam pemanis namun bukan tersusun dari sukrosa sebagai komponen utama. Proses untuk menghasilkan gula mencakup tahap ekstraksi (pemerasan) diikuti dengan pemurnian melalui distilasi (penyulingan) (Ahyari, 2002).

2.1.2 Bahan Baku

Bahan dasar utama untuk pembuatan gula adalah tanaman tebu. Tebu merupakan tanaman perkebunan semusim. Tebu termasuk ke dalam *family poaceae* atau lebih dikenal sebagai kelompok rumput-rumputan. Tebu tumbuh di dataran rendah daerah tropika dan dapat tumbuh juga di sebagian daerah subtropika. Manfaat utama tebu adalah sebagai bahan baku pembuatan gula pasir. Ampas tebu (*bagasse*) adalah hasil samping dari proses ekstraksi cairan tebu yang berasal dari bagian batang tanaman tebu (Zultiniar, dkk, 2011).

Gula (sukrosa) berada pada bagian batang sekitar 10 % dan sisanya ialah komponen bukan gula. Batang tebu bisa mencapai panjang 6 meter dengan rata-rata 3-4 m. Batang tebu berbuku-buku, diantara buku terdapat ruas yang keras. Didalam buku terdapat jaringan parenkim lunak, yang mengandung sekitar 80%

dan gula keseluruhan. Kadar gula dari tiap buku berlainan, semakin kepucuk semakin rendah karena kemasakan berasal dari bawah. Tebu muda mempunyai perbedaan kandungan gula pada daerah pucuk dan pangkal yang besar. Semakin tua tanaman tebu, kadar gula pucuk semakin mendekati kadar gula pangkalnya. Tanaman tebu menjadi tua sekitar 12-16 bulan, namun tanaman tebu biasa ditebang pada umur 9-12 bulan (Suparmo dan Sudarmanto, 1991).

2.2 Karakteristik Limbah

2.2.1 *Biochemical 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 yang diperbolehkan di buang ke lingkungan dalam standar baku mutu Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013 adalah 50 mg/lit . Definisi lain BOD₅ adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram/liter (mg/l) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD₅ (Sugiharto,1987).

Baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD₅ yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan berdasarkan Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013 adalah 150 mg/L.

2.2.2 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

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, 2003).

Standar baku mutu COD dalam industri gula yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 300 mg/L berdasarkan Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013.

2.2.3 Total Suspended Solid (TSS)

TSS adalah zat-zat padat yang berada pada dalam suspensi, dapat dibedakan menurut ukurannya sebagai partikel tersuspensi koloid (partikel koloid) dan partikel tersuspensi biasa (partikel tersuspensi). Jenis partikel koloid tersebut adalah penyebab kekeruhan dalam air (efek tyndall) yang disebabkan oleh penyimpangan sinar nyata yang menembus suspensi tersebut. Partikel-partikel koloid tidak terlihat secara visual, sedangkan larutannya (tanpa partikel koloid) yang terdiri dari ion-ion dan molekul-molekul tidak pernah keruh. Larutan menjadi keruh bila terjadi pengendapan (presipitasi) yang merupakan keadaan kejenuhan dari suatu senyawa kimia. Partikel-partikel tersuspensi biasa, mempunyai ukuran lebih besar dari partikel koloid dan dapat menghalangi sinar yang akan menembus suspensi, sehingga suspensi tidak dapat dikatakan keruh, karena sebenarnya air di antara partikel-partikel tersuspensi tidak keruh dan sinar tidak menyimpang (Alaerts dan Santika, 1987).

Baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan berdasarkan Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013 adalah 400 mg/L.

2.2.4 Minyak dan lemak

Kandungan minyak dan lemak dalam limbah banyak dijumpai dari proses produksi yang berbahan dasar tumbuhan, hewan maupun mineral. Kebanyakan dari lemak pada umumnya tercampur dengan berbagai macam trigliserida (ester gliserol dari asam lemak). Minyak dan lemak juga sering pada tumbuhan dan hewan, yang merupakan komponen penting bagi kehidupan manusia (EPA, 1997).

Permasalahan-permasalahan yang dapat ditimbulkan oleh kehadiran minyak dan lemak dalam limbah industri menurut Terrence P. Driscoll and Friends, 2008 antara lain :

1. Tersumbatnya saluran pembawa.
2. Timbulnya padatan lemak pada stasiun pemompaan sumur pengumpul yang berpotensi merusak pompa.

3. Timbulnya konsentrasi minyak dan lemak pada bak pengendapan yang berpotensi menyebabkan permasalahan pada proses berikutnya.
4. Menurunnya performa pengolahan biologis akibat kehadiran minyak dan lemak pada limbah.
5. Sukarnya pemadatan dan pengurangan kandungan air pada proses *biosolid*.

Standar baku mutu minyak dan lemak dalam industri gula yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 10 mg/L berdasarkan Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013.

2.2.5 Fosfat

Secara alamiah, sungai dapat tercemar pada daerah permukaan air saja. Pada sungai yang besar dengan arus air yang deras, sejumlah kecil bahan pencemaran akan mengalami pengenceran sehingga tingkat pencemaran menjadi sangat rendah. Hal tersebut menyebabkan konsumsi oksigen terlarut yang diperlukan oleh kehidupan air dan biodegradasi akan cepat diperbaharui. Tetapi terkadang sebuah sungai mengalami pencemaran yang berat sehingga air mengandung bahan pencemaran salah satunya fosfat. Keberadaan senyawa fosfat dalam air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Bila kadar fosfat dalam air rendah ($< 0,01$ mg P/L), pertumbuhan ganggang akan terhambat, keadaan ini dinamakan oligotrop. Sebaliknya bila kadar fosfat dalam air tinggi, pertumbuhan tanaman dan ganggang tidak terbatas lagi (keadaan eutrop), sehingga dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut air. Hal ini tentu sangat berbahaya bagi kelestarian ekosistem perairan (Pemerintah Kabupaten Lebak Dinas Lingkungan Hidup).

2.2.6 Potential of Hydrogen (pH)

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 diantara 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 mengatur besar pH yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan berdasarkan Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013 adalah 6,0 - 9,0.

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan mempunyai kelompok tingkat pengolahan, pengolahan air buangan dibedakan atas :

2.3.1 Preliminary Treatment (Pengolahan Pendahuluan)

Proses pengolahan ini merupakan proses pada awal pengolahan dan bersifat pengolahan fisik. Proses pengolahan yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Unit pengolahannya meliputi :

1) Saluran Pembawa dan Screen

Air limbah dari proses produksi dibawa oleh saluran pembawa menuju unit pengolahan, setelah itu dialirkan ke bak pengumpul. 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 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).

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 horisontal. (MetCalf & Eddy, 2003).

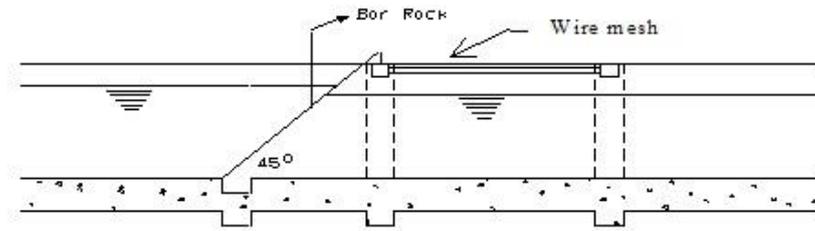
Tabel 2.1 Tipe desain untuk pembersihan secara manual dan mekanik

U.S. CUSTOMARY UNITS				SI UNITS		
METODE PEMBERSIHAN				METODE PEMBERSIHAN		
PARAMETER	UNIT	MANUAL	MEKANIK	UNIT	MANUAL	MEKANIK
Ukuran kisi						
lebar	in	0.2 - 0.6	0.2 - 0.6	mm	5 - 15	5 - 15
dalam	in	1.0 - 1.5	1.0 - 1.5	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar kisi	in	1.0 - 2.0	0.6 - 3.0	mm	25 - 50	15 - 75
Slope dari vertikal		30 - 45	0 - 30		30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
maximum	ft/s	1.0 - 2.0	2.0 - 3.25	m/s	0.3 - 0.6	0.6 - 1.0
minimum	ft/s		1.0 - 1.6	m/s		0.3 - 0.5
Headloss	in	6	6 - 24	mm	150	150 - 600

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

Saluran untuk screen direncanakan untuk mengurangi akumulasi dari pasir dan padatan – padatan lain yang dibawa oleh air limbah pada saluran. Dan screen tersebut biasanya digunakan pada saluran berbentuk persegi. Permukaan dari saluran normalnya 7 – 15 cm lebih rendah dari permukaan tanah. Dalam perencanaan, paling sedikit digunakan 2 screen yang masing – masing direncanakan aliran puncaknya, dan harus sempurna untuk keseluruhan permasalahan yang di luar dugaan (Metcalf & Eddy, 2003).

Penyaringan tergantung dari jenis air limbah, kondisi geografi, kondisi cuaca, tipe dan ukuran screen. Banyaknya air limbah yang disaring biasanya adalah 3.5 sampai 80 m³ / 10⁶ m³ (0.5 – 11 ft³ / million gallon). Penyaringan mengurangi kira – kira 80 % air limbah yaitu seberat 960 kg / m³ (60 lb / ft³) (Syed R Qasim, 1985).



Gambar 2.2. Screening

Tabel 2.2 Faktor bentuk bar screen

Jenis Bar	β	Bentuk
- Segi empat sisi runcing	2,42	
- Segi empat sisi bulat runcing	1,83	
- Segi empat sisi bulat	1,67	
- Bulat	1,79	

(Sumber : Syed R. Qasim, 1985)

2) Sumur pengumpul dan pemompaan

Sumur pengumpul merupakan unit penyeimbang, sehingga debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi dalam keadaan konstan. Pemompaan digunakan untuk mengalirkan limbah ke unit pengolahan selanjutnya.

Tabel 2.3 Macam-Macam Karakteristik Pompa

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	- Air limbah sebelum diolah - Penggunaan lumpur kedua - Pembuangan effluent
	Peripheral	- Limbah logam, pasir lumpur, air limbah kasar
	Rotor	- Minyak, pembuangan gas permasalahan zat-zat kimia pengaliran lambat untuk air dan air buangan

Positive Displacement	Screw	- Pasir, pengolahan lumpur pertama dan kedua - Air limbah pertama - Lumpur kasar
	Diafragma Penghisap	- Permasalahan zat kimia - Limbah logam - Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	Air Lift	- Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur kedua
	Pneumatic Ejector	- Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

(Sumber : Syed R Qasim, 1985)

2.3.2 Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

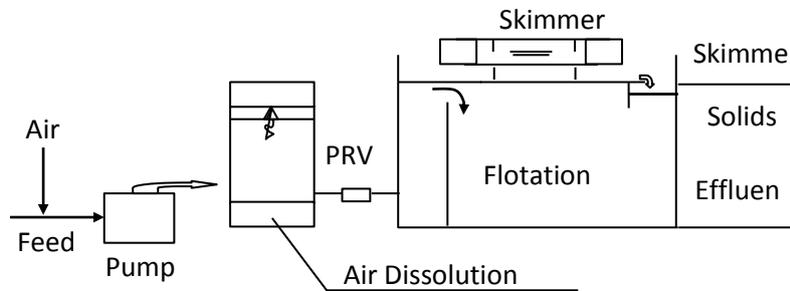
1) Flotasi

Flotasi adalah operasi unit yang menghilangkan padatan atau cairan partikel dari cairan (seperti tetapan minyak dilepaskan dari air). Menambahkan gas (biasanya udara) ke sistem memudahkan pemisahan. Gelembung gas naik baik menempel ke atau terjebak dalam struktur partikel SS, sehingga menurun spesifik gravitasinya menurun relatif terhadap fasa cair dan mempengaruhi pemisahan partikel tersuspensi. Metode pelepasan meliputi dispersi, dan larutan terlarut, dan lain sebagainya (Syed R Qasim, 1985).

Berfungsi untuk memisahkan partikel-partikel suspensi, seperti minyak, lemak dan bahan-bahan apung lainnya yang terdapat dalam air limbah dengan mekanisme pengapungan. Berdasarkan mekanisme pemisahannya :

- Bisa berlangsung secara fisik, yaitu tanpa penggunaan bahan untuk membantu percepatan flotasi, hal ini bisa terjadi karena partikel-partikel suspensi yang terdapat dalam air limbah akan mengalami tekanan ke atas sehingga mengapung di permukaan karena berat jenisnya lebih rendah dibanding berat jenis air limbah.
- Bisa dilakukan dengan penambahan bahan, yaitu : udara atau bahan polimer yang diinjeksikan ke dalam cairan pembawanya, yang dapat mempercepat laju

partikel ringan menuju permukaan. Untuk keperluan flotasi, udara yang diinjeksikan jumlahnya relatif sedikit ($\pm 0,2 \text{ m}^3$ udara) untuk setiap (m^3) air limbah. Semakin kecil ukuran gelembung udara maka proses flotasi akan semakin sempurna.



Gambar 2.11 Tangki Flotasi

Terdapat beberapa mekanisme kontak gelembung gas dan partikel (Vrablik, 1959; Rich, 1974), antara lain :

1) Pengapungan

Gelembung gas akan naik ke atas dan tertangkap oleh struktur material flokulen. Ikatan yang terjadi antara gelembung gas dan partikel hanyalah penangkapan secara fisik.

2) Penyerapan

Mekanisme ini terjadi karena penyerapan gelembung gas kedalam struktur flokulen padat tersuspensi sehingga membentuk flokulen baru.

3) Pelekatan

Pelekatan terjadi karena adanya gaya tarik antara molekuler yang dipergunakan pada suatu permukaan antara dua fasa dan mengakibatkan tegangan permukaan.

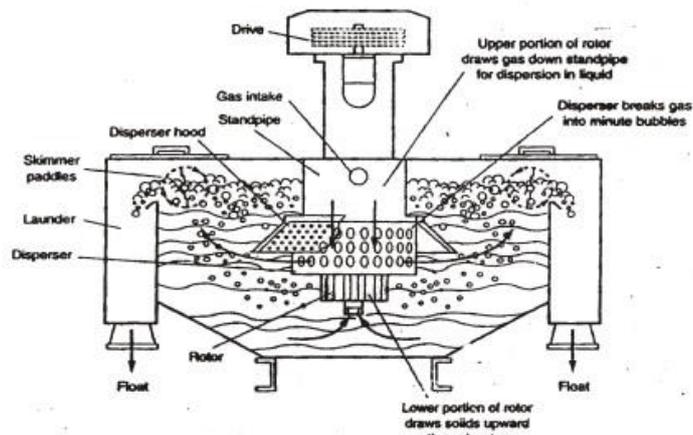
Sedangkan empat metoda flotasi (Gaudin, 1957; Rich, 1974; Degremont, 1979) :

1) Spontaneous Flotation.

Flotasi spontan terjadi bila massa jenis partikel lebih kecil dari massa jenis air. Cara ini dipergunakan untuk pemisahan minyak dari proses refinery.

2) Dispersed Air Flotation (AF).

Pada sistem dispersed air flotation, gelembung udara terbentuk karena adanya tekanan udara yang masuk kecairan melalui diffuser atau impeller berputar. Ukuran gelembung udara yang dihasilkan biasanya begitu besar (1000 micron).



Gambar 2.12 Dispersed Air Flotation Unit

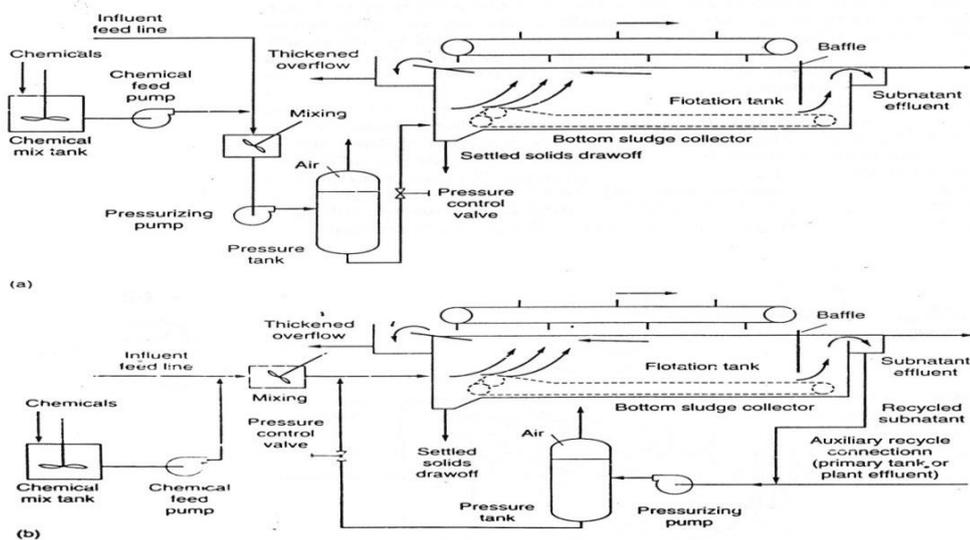
3) Vacuum Flotasi (VF).

Melibatkan pelarutan udara di dalam air buangan pada tekanan 1 atm, kemudian divacuumkan dengan tekanan yang lebih rendah maka akan menurunkan kelarutan udara dalam air, udara akan keluar dari larutan dalam bentuk gelembung yang halus.

4) Dissolved Air Flotation.

Pada sistem (DAF), udara dilarutkan didalam cairan di bawah tekanan beberapa atmosfer sampai jenuh, kemudian dilepaskan ke tekanan atmosfer. Akibat terjadinya perubahan tekanan maka udara yang terlarut akan lepas kembali dalam bentuk gelembung yang halus (30-120 mikron).

Ukuran gelembung udara sangat menentukan dalam proses flotasi, makin besar ukuran gelembung udara, kecepatan naiknya juga makin besar, sehingga kontak antara gelembung udara dengan partikel tidak berjalan dengan baik. Dengan demikian proses flotasi menjadi tidak efektif.



Gambar 2.13 Bak Flotasi. (a) Tanpa Resirkulasi, (b) Dengan Resirkulasi

2) Netralisasi

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, hal ini membutuhkan netralisasi terlebih dahulu. Untuk proses biologi pH yang diharuskan antara 6.5 - 8.5 agar aktivitas biologi menjadi optimum. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri karena adanya produk CO_2 yang terjadi akibat pembakaran dengan zat asam oleh kandungan buffer.

Larutan dikatakan asam bila : $\text{H}^+ > \text{H}^-$ dan $\text{pH} < 7$

Larutan dikatakan netral bila : $\text{H}^+ = \text{H}^-$ dan $\text{pH} = 7$

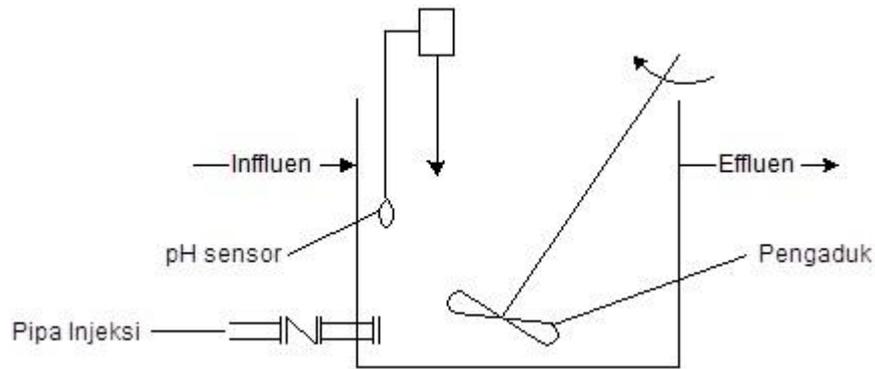
Larutan dikatakan basa bila : $\text{H}^+ < \text{H}^-$ dan $\text{pH} > 7$

Ada beberapa cara menetralkan 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, Na₂CO₃ atau NH₄OH ke limbah asam.
- Penambahan asam kuat (H₂SO₄, HCl) dalam limbah basa.
- Penambahan CO₂ bertekanan dalam limbah basa.
- Pembangkitan CO₂ dalam limbah basa.

Adapun prinsip pencampuran di dalam bak netralisasi seperti pada dibawah ini :

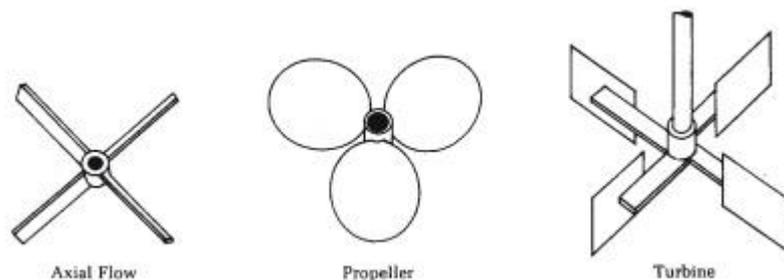


Gambar 2.14 Spesifikasi Proses pada Unit Bangunan Bak Netralisasi

Proses pencampuran dilakukan dengan prinsip mekanisme mixing, membuat aliran turbulen dengan tenaga penggerak motor dimana bak pengaduk dilengkapi dengan peralatan mekanis, seperti berikut :

- Paddle dengan putaran 2 – 150 rpm.
- Turbine dengan putaran 10 – 150 rpm
- Propeller dengan putaran 150 – 1500 rpm

Berikut beberapa jenis impeller :



Gambar 2.15 Jenis-jenis Impeller

Berikut nilai konstanta K_L dan K_T berdasarkan type impeller :

Tabel 2.4 Nilai Konstanta K_L dan K_T berdasarkan tipe impeller

Type Impeller	K_L	K_T
Propeller, pitch of 1,3 blades	41.0	0.32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43.5	1.00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60.0	5.31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65.0	5.75
Turbine, 6 curved blades	70.0	4.80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70.0	1.65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97.5	1.08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172.5	1.12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), $D_i/W_i = 4$	43.0	2.25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 6$	36.5	1.70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 8$	33.0	1.15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$	49.0	2.75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 6$	71.0	3.82

(Sumber : Tom D Reynold, 1996)

Berikut waktu detensi dan gradient velocity :

Tabel 2.5 Waktu Detensi dan Gradien Velocity

Td (detik)	G (detik ⁻¹)
20	1000
30	900
40	750
50 or more	700

(Sumber: Tom D Reynold, 1996)

3) Koagulasi

Koagulasi (*rapid mix*) berfungsi untuk mencampurkan bahan kimia menjadi sama rata dalam bak dan memberikan hubungan yang cukup antara koagulan dengan partikel suspended solid. Singkatnya, upaya agar koagulan dapat bercampur maksimal dengan air baku. Diharapkan effluen dari proses koagulan dapat membentuk mikroflok.

Sebagian besar pengadukan pada pengolahan air limbah dapat dikelompokkan sebagai *continuous-rapid* (kurang dari 30 detik) atau *continuous* (terus-menerus).

a. Continuous Rapid Mixing (pengadukan cepat)

Pengadukan cepat biasanya digunakan dimana satu substansi diaduk dengan yang lain. Prinsip dari pengadukan cepat ini adalah :

- Mencampur bahan kimia dengan air limbah (misal: penambahan alum, garam besi untuk di flokulasi dan pengendapan atau untuk menyebarkan klorin dan hypoklorin ke air buangan untuk desinfektan),
- Mencampur cairan yang dapat dicampur, dan
- Penambahan bahan kimia untuk lumpur dan biosolid untuk memperbaiki karakteristik pengeringan.

b. Continuous Mixing (pengadukan terus-menerus)

Pengadukan terus-menerus digunakan dimana konten dari reactor atau *Holding tank* atau tangki harus terjaga suspensinya pada bak equalisasi, bak flokulasi, dan proses pengolahan pertumbuhan biologi, *aerated lagoon*, dan *aerobic digester*.

Fungsi dari proses koagulasi untuk memberikan koagulan (aluminium sulfat, garam besi, dan kalium hidroksida) pada air buangan. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah :

a. Koagulan Aluminium Sulfat

Aluminium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan ini membutuhkan kehadiran alkalinitas dalam air untuk membentuk flok. Dalam reaksi koagulasi, flok alum dituliskan sebagai $Al(OH)_3$. 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 6-8. Didalam air koagulan alum akan mengalami proses disosiasi, hidrolisa dan polimerisasi.

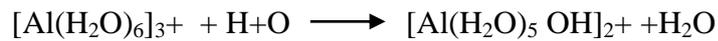
Reaksi disosiasi:



Reaksi hidrolisa:



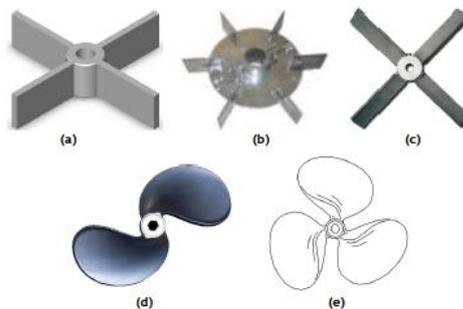
Reaksi polimerisasi ion kompleks



- b. Koagulan Ferri Clorida
- c. Koagulan Chlorinated Copperas ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$), $\text{Fe Cl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- d. Koagulan Poly Aluminium Chloride(PAC)

Adapun jenis pengaduk cepat secara mekanik yaitu :

1. Turbine



Gambar 2.16 Tipe Turbin Impeller

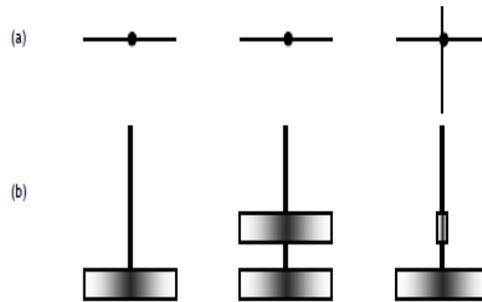
Ada beberapa jenis turbine impeller antara lain :

- a. Straight blade
- b. Vaned disc
- c. Curved blade
- d. Propeler 2 blade
- e. Propeler 3 blade.

Sedangkan kriteria dari turbin propeller ini adalah sebagai berikut :

- Diameter impeller = 30 – 50 % dari diameter atau lebar bak.
- Kecepatan impeller= 10 – 150 rpm
- Baffle dalam bak = 0.1 dari diameter atau lebar bak.

2. Paddle



Gambar 2.17 Tipe Paddle

Kriteria dari Paddle Impeller ini adalah sebagai berikut :

- Diameter = 50 – 80 % dari diameter atau lebar bak.
- Kecepatan = 20 – 150 rpm
- Baffle dalam bak = 0.1 dari diameter atau lebar bak.
- Lebar paddle = $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{10}$ dari diameter bak atau lebar bak

3. Propeller

Kriteria dari propeler ini adalah sebagai berikut :

- Kecepatan = 400 – 1750 rpm
- Baffle dalam bak = 0.1 dari diameter atau lebar bak.
- Terdiri dari = 2 – 4 blades
- Max. Diameter propeller = 18 inci

Power yang diberikan pada air yang diolah oleh pengaduk mekanik yang berbeda harus menghasilkan aliran turbulen dengan $N_{Re} > 10000$.

Tabel 2.6 Nilai konstanta K_L dan K_T

Type Impeller	K_L	K_T
Propeller, pitch of 1,3 blades	41.0	0.32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43.5	1.00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60.0	5.31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65.0	5.75
Turbine, 6 curved blades	70.0	4.80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70.0	1.65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97.5	1.08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172.5	1.12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), $D_i/W_i = 4$	43.0	2.25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 6$	36.5	1.70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 8$	33.0	1.15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$	49.0	2.75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 6$	71.0	3.82

(Sumber : Tom D Reynold, 1996)

Jika hanya menggunakan suatu koagulan maka menggunakan satu kompartemen, tetapi apabila lebih dari satu koagulan jumlah kompartemen bisa lebih dari satu. Diharapkan aliran dalam bak pengaduk cepat adalah aliran turbulen. Volume bak tergantung dari waktu detensi. Hubungan waktu detensi dan gradien kecepatan pada pengaduk cepat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.7 Waktu Detensi dan Gradien Velocity

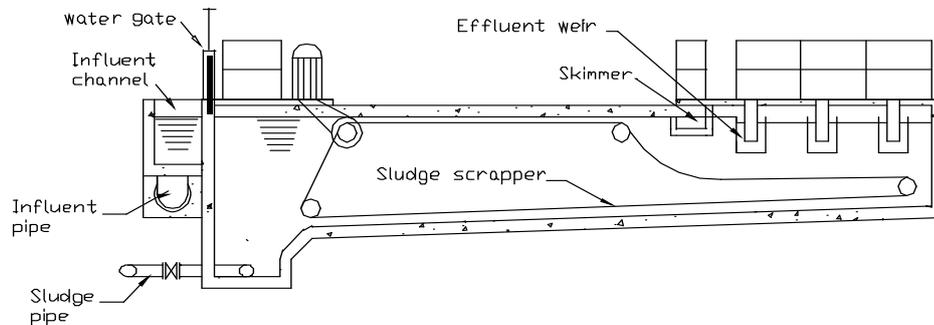
Td (detik)	G (detik ⁻¹)
20	1000
30	900
40	750
50 or more	700

(Sumber: Tom D Reynold, 1996)

4) Bak Pengendap I

Efisiensi removal dari bak pengendap pertama ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. 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 lemak dan minyak yang mengambang (Tom D Reynold, 1996).



Gambar 2.18 Bak Pengendap Rectanguler

2.3.3 Pengolahan Kedua (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloid dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Pada pengolahan biologis dilakukan proses secara aerob maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD yaitu 60 - 90% serta TSS yaitu 40 - 90% (Syed R Qasim, 1985).

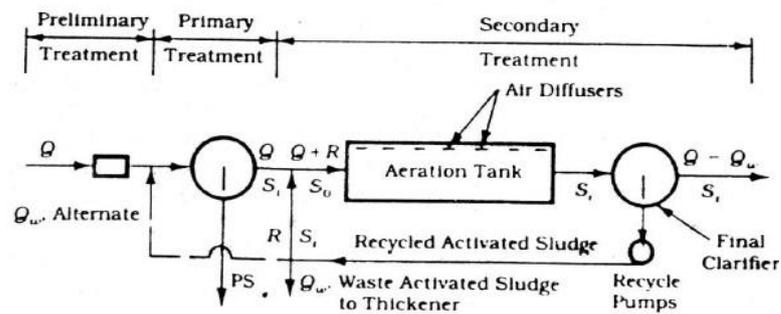
Macam-macam pengolahan sekunder adalah:

a) **Pengolahan dengan Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)**

Untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi 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 proses didalam activated sludge, yaitu:

1. Konvensional

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

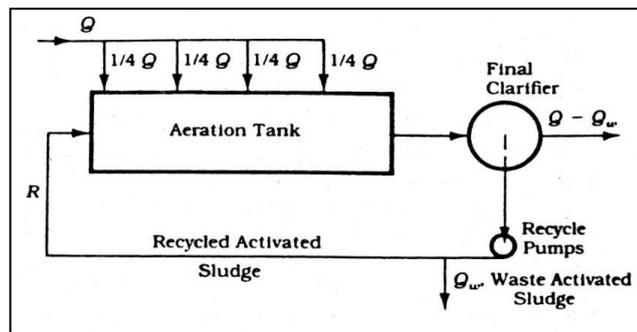


Gambar 2.19 Activated Sludge Sistem Konvensional

2. Non Konvensional

a. Step Aeration

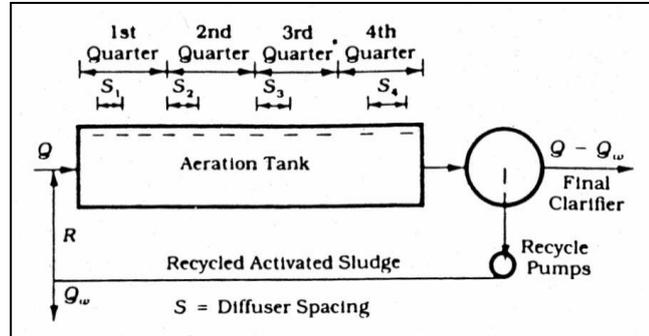
- Merupakan type plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju outlet.
- Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik ditanki aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen titik yang paling awal.
-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



Gambar 2.20 Step Aerasi

b. Tapered Aeration

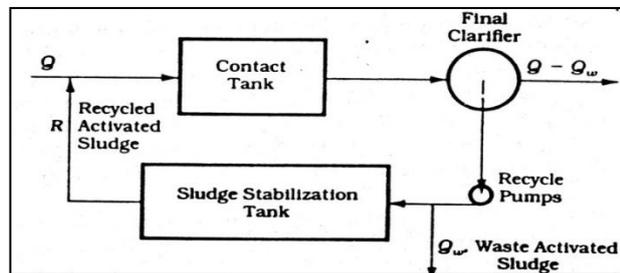
Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara titik awal lebih tinggi.



c. Contact Stabilization

Pada sistem ini terdapat 2 tanki yaitu :

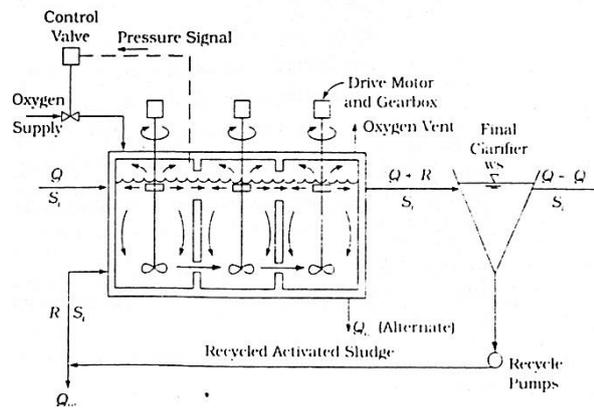
- Contact tank yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
- Reaeration tank yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengasorb (proses stabilisasi).



Gambar 2.22 Contact Stabilization

d. Pure Oxygen

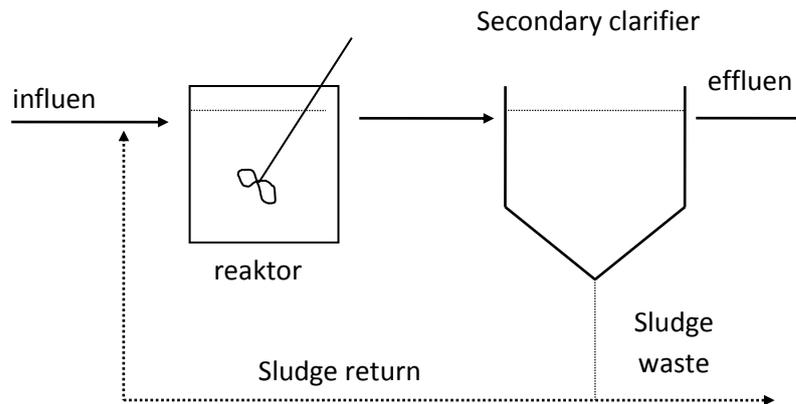
Oksigen murni diinjeksikan ke tanki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan td pendek.



Gambar 2.23 Pure Oxygen

e. High Rate Aeration

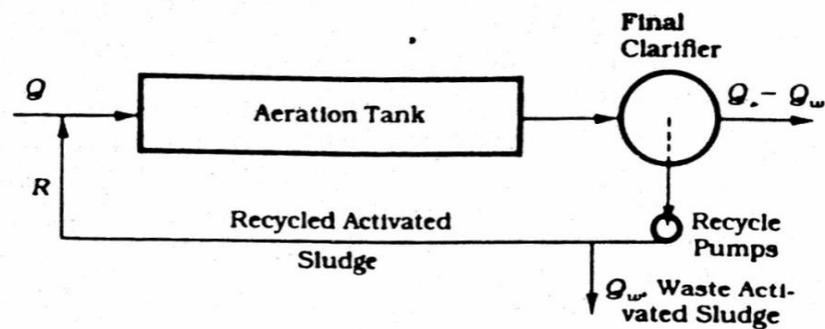
Kondisi ini tercapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 - 5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganismenya yang lebih besar.



Gambar 2.24 High Rate Aeration

f. Extended Aeration

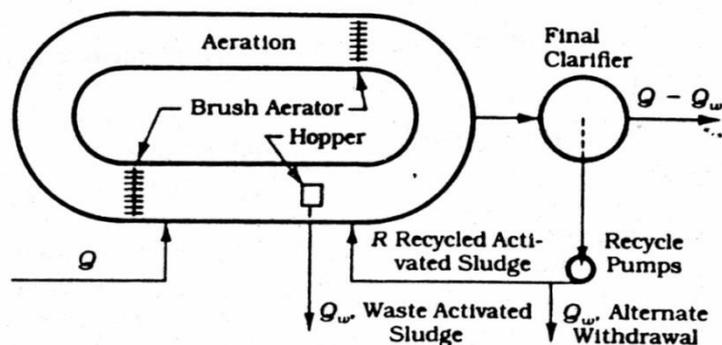
Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan time detention (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.



Gambar 2.25 Extended Aeration

g. Oxydation Ditch

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



Gambar 2.26 Oxydation Ditch

1) Pengolahan dengan Biofilm

Macam-macam pengolahan dengan menggunakan biofilm :

1. Trickling Filter

Trickling filter menurunkan beban organik yang terdapat dalam air buangan dengan cara mengalirkannya pada media yang permukaannya diselubungi oleh lumpur aktif sebagai biological film. Filter yang digunakan batuan-batuan, pasir, granit dan lain-lain dalam berbagai ukuran mulai dari diameter 3/4 in sampai dengan diameter 2,5 in. Proses yang terjadi adalah proses biologis yang memerlukan oksigen (aerobik).

Cara kerja Trickling filter :

Air limbah dari pengolahan primer dialirkan masuk melalui pipa yang berputar diatas suatu lahan dengan media filter, beban organik yang ada dalam limbah disemprotkan diatas media, dan diuraikan oleh mikroorganisme yang menempel pada media filter. Bahan organik sebagai substrat yang terlarut dalam air limbah di absorpsi dalam biofilm antar lapisan berlendir.

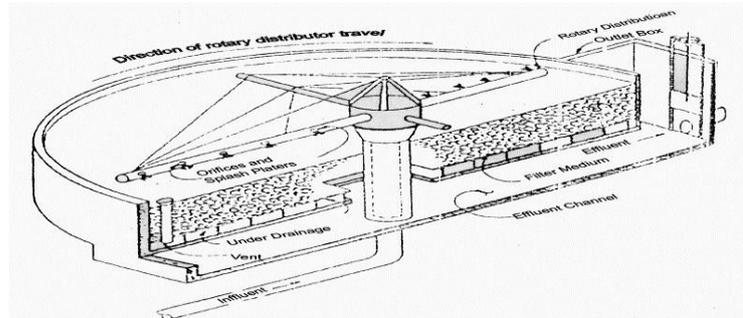
Pada lapisan bagian luar biofilm, bahan organik diuraikan oleh mikroorganisme aerobik. Pertumbuhan mikroorganisme mempertebal lapisan biofilm, oksigen yang terdifusi dapat dikonsumsi sebelum biofilm mencapai ketebalan maksimum. Pada saat mencapai ketebalan penuh maka oksigen tidak dapat mencapaipenetrasi secara penuh, sehingga pada bagian dalam atau pada permukaan media akan berad pada kondisi anaerobik.

Pada saat lapisan biofilm mengalami penambahan ketebalan , dan bahan organik yang diabsorpsi dapat diuraikan oleh mikroorganisme namun tidak mencapai mikroorganisme yang berada pada permukaan media. Dengan kata lain tidak tersedia bahan organik untuk sel karbon pada bagian permukaan media, sehingga mikroorganisme sekitar permukaan media mengalami fase endogenous atau kematian. Pada akhirnya mikroorganisme sebagai biofilm tersebut akan lepas dari media, cairan yang masuk akan ikut melepas atau mencuci dan mendorong biofilm keluar setelah itu lapisan biofilm baru akan segera tumbuh. Fenomena lepasnya biofilm dari media tersebut disebut sloughing dan hal ini fungsi dari beban organik dan beban hidrolis pada trickling filter tersebut. Beban hidrolis memberikan kecepatan daya gerus biofilm sedangkan beban organik memberikan kecepatan daya dalam biofilm. Berdasarkan beban hidrolis dan organik maka dapat dikelompokan tipe trickling filter low rate dan high rate.

Trickling filter terdiri dari suatu bak dengan media permeable untuk pertumbuhan mikroorganisme. Filter media biasanya mempunyai ukuran diameter 25-100 mm, kedalaman filter berkisar 0,9-2,5m (rata-rata 1,8) media filter dapat mencapai 12 m yang disebut sebagai tower trickling filter.

Air limbah didistribusikan pada bagaian atas dengan satu lengan distributor yang dapat berputar. Filter juga dilengkapi dengan underdrain untuk

mengumpulkan biofilm yang mati untuk kemudian diendapkan dalam bak sedimentasi. Bagian cairan yang keluar biasanya dikembalikan lagi ke trickling filter sebagai air pengencer air baku yang diolah.



Gambar 2.27 Trickling Filter

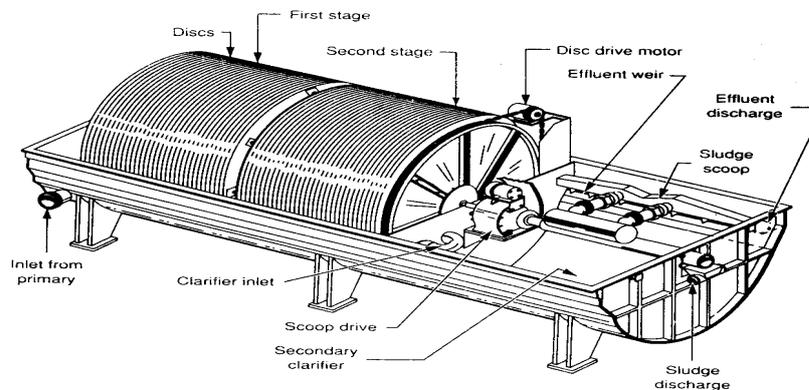
2. Rotating Biological Contactor (RBC)

RBC menurunkan biomassa sebelum diendapkan pada bak pengendap dengan cara yaitu RBC yang terdiri dari suatu piringan seri berbentuk lingkaran yang terbuat dari bahan PVC, disusun secara vertikal dengan menghubungkan satu sama lain dengan satu sumbu, sehingga piringan tersebut dapat berputar. Sebagian piringan tersebut tercelup dalam air limbah yang diolah dimana akan tumbuh biofilm dan menempel pada permukaan piringan dalam bentuk lendir. Pada saat berputar bagian piringan yang tercelup air akan menguraikan zat organik yang terlarut dalam air, sedangkan pada saat kontak dengan udara, biomassa akan mengabsorpsi oksigen sehingga tercapai kondisi aerobik dan biomassa yang berlebihan akan terbawa keluar.

Keuntungan RBC :

- 1) Waktu kontak yang tidak terlalu lama, biasanya ≤ 1 jam karena luas permukaan besar.
- 2) Dapat mengolah air limbah pada kisaran kapasitas yang besar, dari ≤ 1000 gal/hari sampai ≥ 100.000 gal/hari.
- 3) Tidak diperlukan recycle.
- 4) Biomassa yang terlepas (sloughing) mudah dipisahkan dari air yang sudah diolah.

- 5) Biaya operasi cukup murah karena tidak diperlukan keahlian khusus untuk operatornya

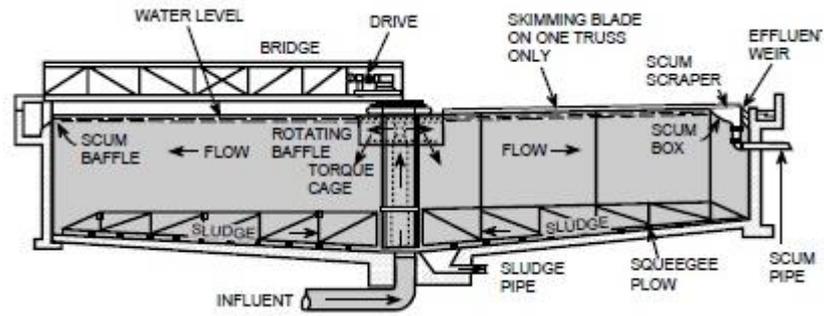


Gambar 2.28 Rotating Biological Contractor (RBC)

c) Bak Pengendap II (Secondary Clarifier)

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 slude 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).



Gambar 2.29 Secondary clarifier

2.2.4 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 :

- a. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel untuk 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 :

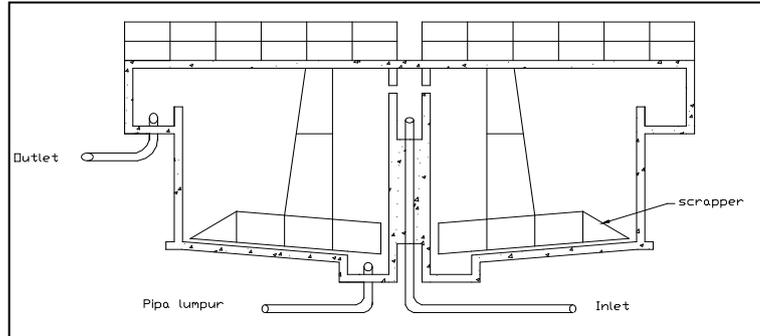
- Mereduksi kadar lumpur
- Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

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

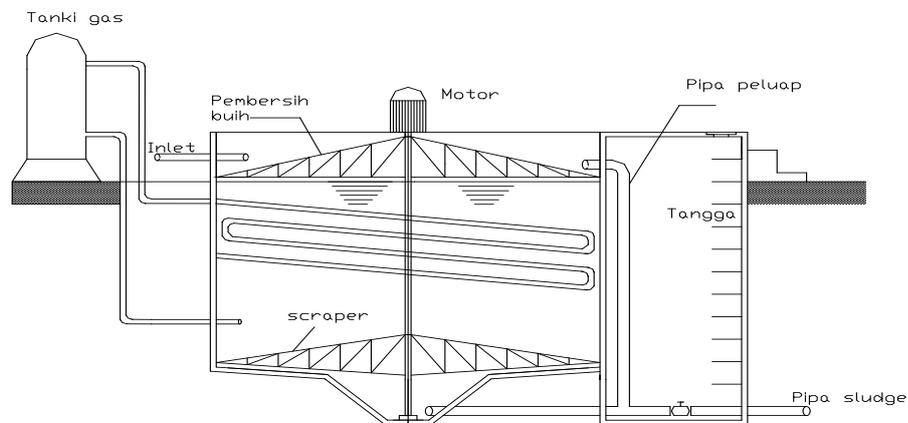
adalah gravity thickener dan lumpur berasal dari bak pengendap I dan pengendap II. Pada sistem gravity thickener ini, lumpur diendapkan di dasar bak sludge thickener.



Gambar 2.30 Sludge Thickener

2) Sludge Digester

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

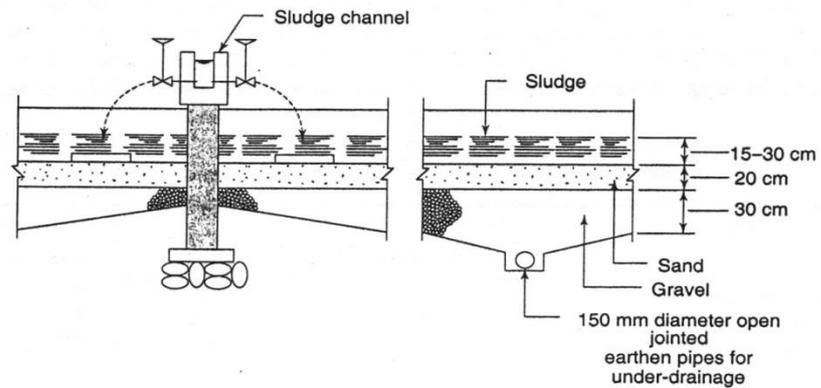


Gambar 2.31 Sludge Digester

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.



Gambar 2.32 Sludge Drying Bed

2.3 Persen Removal

Berikut merupakan persen removal dari setiap unit bangunan pengolahan limbah.

Tabel 2.8 Persen Removal Tiap Unit Bangunan Pengolah Limbah

Jenis Bangunan	Parameter Tersisih	Kemampuan Penyisihan (%)	Sumber
Bar Screen	-	-	-
Flotasi	Minyak	65 - 98%	Qasim, S. R. <i>Wastewater Treatment Plant : Planning, Design and Operation</i> . New York: Holt, Reinhart and Winston, 1985.
Netralisasi	pH	-	Tom D. Reynolds, Paul A. Richards. <i>Unit Operation and Processes in Environmental Engineering (Second Edition)</i> . Boston: PWS Publishing Company, 1996.

Jenis Bangunan	Parameter Tersisih	Kemampuan Penyisihan (%)	Sumber
Koagulasi	Fosfat	75 - 95%	Metcalf & Eddy. <i>Wastewater Engineering : Treatment and Reuse (Fourth Edition)</i> . McGraw - Hill Companies , inc, 2003.
Bak Pengendap I	TSS	50 - 70%	Metcalf & Eddy. <i>Wastewater Engineering : Treatment and Reuse (Fourth Edition)</i> . McGraw - Hill Companies , inc, 2003.
	BOD	25 - 40%	
Activated Sludge (Konvensional)	TSS	85 - 95%	Sperling, Marcos Von. <i>Biological Wastewater Treatment Series</i> . London. New York: IWA, 2007.
	BOD	85 - 95%	
	COD	85 - 95%	
Bak Pengendap II (Clarifier)	TSS	50 - 70%	Metcalf & Eddy. <i>Wastewater Engineering : Treatment and Reuse (Fourth Edition)</i> . McGraw - Hill Companies ,inc, 2003.
	BOD	25 - 40%	

2.4 Profil Hidrolis

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.

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
- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
- c. Kehilangan tekanan pada pompa
- d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

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.