

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lindi

2.1.1 Pengertian lindi

Menurut Tchobanoglous (1993) lindi yaitu cairan yang meresap melalui sampah yang mengandung unsur-unsur yang terlarut dan tersuspensi. Lindi dalam ilmu kesehatan lingkungan adalah kombinasi dari rembesan air hujan langsung dan cairan apapun yang keluar dari hasil konsolidasi material-material sampah *landfill*. Secara umum lindi adalah cairan sampah yang ditimbulkan dari proses dekomposisi sampah padat dan perkolasi air kedalam timbunan sampah. Lindi yang dihasilkan *landfill* sebagian besar terdiri dari sejumlah senyawa khusus yaitu senyawa organik yang mempunyai relevansi satu sama lainnya. Sampah padat dengan kandungan air minimum 25 % akan mengalami pembusukan secara organik oleh pengurai sebagai salah satu hasilnya yaitu lindi. Lindi ini akan terjadi apabila ada air eksternal yang berinfiltrasi kedalam timbunan sampah, misalnya dari air permukaan, air tanah, air hujan, atau sumber lainnya. Cairan tersebut kemudian akan mengisi rongga-rongga pada sampah dan bila kapasitasnya sudah melebihi kapasitas tekanan air dari sampah, maka cairan tersebut akan keluar sebagai cairan lindi. Hasil dari proses tersebut maka lindi biasanya mengandung bahan - bahan organik terlarut serta ion-ion anorganik dalam konsentrasi tinggi.

Lindi merupakan hasil dari proses anaerobik karena oksigen yang terdapat pada senyawa organik sampah telah berkurang dan mempunyai hasil akhir berupa

pembentukan gas CH_4 dan SO_2 sebagai hasil dari proses dekomposisi yang terbentuk dengan konsentrasi kimia yang cukup tinggi. Lindi yang tidak dikelola akan menyebabkan terjadinya proses dekomposisi sampah padat terhambat, karena syarat kelembaban nisbinya tidak terpenuhi, juga dapat menimbulkan pencemaran udara karena bau busuk gas H_2S yang ditimbulkan dari proses dekomposisi bahan-bahan organik yang terkandung dalam lindi.

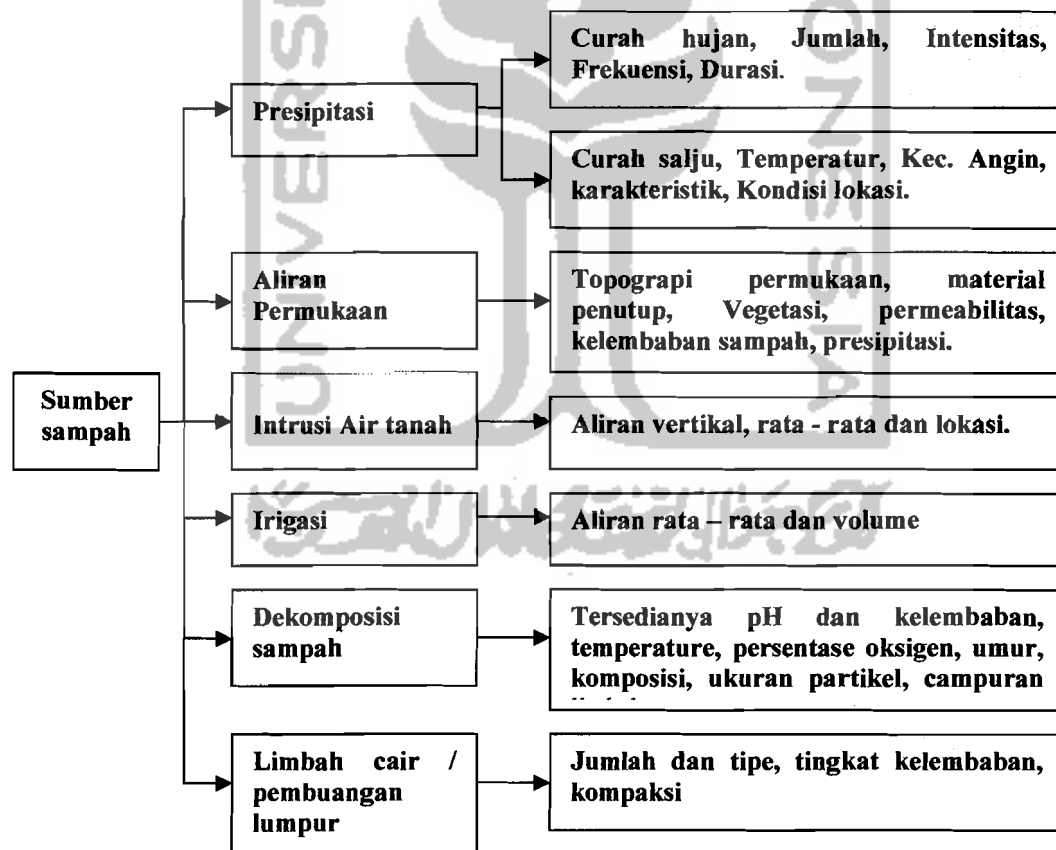
2.1.2 Proses Pembentukan lindi

Proses dekomposisi terjadinya lindi yaitu ketika terjadinya penumpukan sampah yang ditandai dengan adanya perubahan secara fisik, biologis, dan kimia pada sampah. Proses yang terjadi (Chen, 1975), yaitu ;

- a) Penguraian biologis bahan organik secara aerob dan anaerob yang menghasilkan gas dan cairan.
- b) Oksidasi kimiawi.
- c) Pelepasan gas dari timbunan sampah.
- d) Pelarutan bahan organik dan an-organik oleh air dan lindi yang melewati timbunan sampah.
- e) Perpindahan materi terlarut karena gradien konsentrasi dan osmosis.
- f) Penurunan permukaan yang disebabkan oleh pemadatan sampah yang mengisi ruang kosong pada timbunan sampah.

Salah satu hasil dari rangkaian proses diatas adalah terbentuknya lindi yang berupa cairan. Air yang ada pada timbunan sampah ini antara lain berasal dari :

1. Presipitasi atau aliran permukaan yang berinfiltrasi kedalam timbunan.
2. Air tanah dari sumber lain yang bergerak dalam arah horizontal melalui tempat penimbunan.
3. Kandungan dari sampah itu sendiri.
4. Air dari proses dekomposisi bahan organik padat sampah.

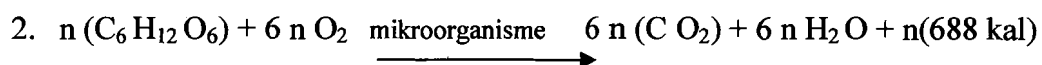
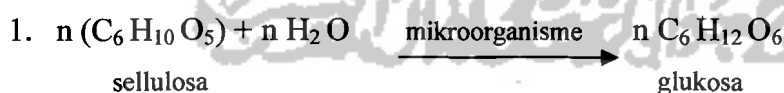


Gambar 2.1 Faktor-faktor yang berpengaruh pada Pembentukan Lindi
(Sumber ; Qasim, 1994)

2.1.3 Karakteristik Lindi

Karakteristik lindi sangat bervariasi tergantung dari proses dalam *landfill* yang meliputi proses fisik, kimiawi dan biologis. Mikroorganisme didalam sampah akan menguraikan senyawa organik yang terdapat dalam sampah menjadi senyawa organik yang lebih sederhana. Sedangkan senyawa anorganik seperti besi (Fe) dan logam lainnya dapat teroksidasi (Tchobanoglous, 1977).

Aktifitas didalam *landfill* pada umumnya mengikuti suatu pola tertentu, pada mulanya sampah terdekomposisi secara aerobik, tetapi setelah oksigen didalamnya habis maka mikroorganisme utama yang bekerja adalah mikroorganisme fakultatif dan anaerob yang menghasilkan gas metan (CH₄). Karakteristik penguraian secara aerobik adalah timbulnya karbondioksida, air dan nitrat. Sedangkan penguraian secara anaerobik menghasilkan metan, karbondioksida, air, asam organik, nitrogen, amoniak, sulfida, besi, mangan dan lain-lain. Reaksi kimia pada proses aerobik dijelaskan sebagai berikut. (Chen, 1974).



Dekomposisi sampah oleh aktivitas mikroba adalah sebagai berikut :

1. Degradasi dilakukan oleh mikroorganisme aerobik menjadi lebih sederhana yaitu karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O).
2. Apabila oksigen yang tertangkap habis dikonsumsi oleh mikroorganisme aerobik dan diganti (CO_2), maka proses degradasi diambil alih oleh organisme yang perkembangannya dengan atau tanpa adanya oksigen. Organisme ini akan memecah molekul organik menjadi lebih sederhana seperti ; Hidrogen, amonia, air, karbon dioksida dan asam organik.
3. Pada tahap ini organisme anorganik berkembang biak dan menguraikan asam organik menjadi gas metan serta lainnya.

Pada fase anaerobik, lindi yang dihasilkan mempunyai kandungan organik yang tinggi, pH rendah, berbau dan perbandingan *BOD* dan *COD* yang tinggi. Tingginya konsentrasi *BOD* dan *COD* disebabkan oleh asam organik yang ada, seperti ; asam asetat, butirrat dan lain-lain. Pada fase *methagonesis*, sebagian besar karbon organik dirubah menjadi gas, sehingga konsentrasi *BOD* dan *COD* menjadi rendah, pada fase ini pH meningkat sekitar 6,8 – 7,2.

Tabel 2.1 Tipikal Data Komposisi lindi Baru dan Matang

Unsur pokok	Konsentrasi mg/l		
	Landfill baru (< 2 tahun)		Landfill lama (> 10 tahun)
	Range	Tipikal	
BOD ₅	2.000 - 30.000	10.000	100 - 200
TOC	1.500 - 20.000	6.000	80 - 160
COD	3.000 - 60.000	18.000	100 - 500
TSS	200 - 20.000	500	100 - 400
N organik	10 - 800	200	80 - 120
N amoniak	10 - 800	200	20 - 40
Nitrat	5 - 40	25	5 - 10
Total fospor	5 - 100	30	5 - 10
Ortho fospor	4 - 80	20	4 - 8
Alkalinitas (CaCO ₃)	1.000 - 10.000	3.000	200 - 1.000
pH	4,5 - 7,5	6	6,6 - 7,5
Total hardnes (CaCO ₃)	300 - 10.000	3.500	200 - 500
kalsium	200 - 3.000	1.000	100 - 400
Magnesium	50 - 1.500	250	50 - 200
Potassium	200 - 1.000	300	50 - 400
Sodium	200 - 2.500	500	100 - 200
klorida	200 - 3.000	500	100 - 400
Sulfat	50 - 1.000	300	20 - 50
Total besi	50 - 1.200	60	20 - 200

(Sumber : Tchobanoglous 1993)

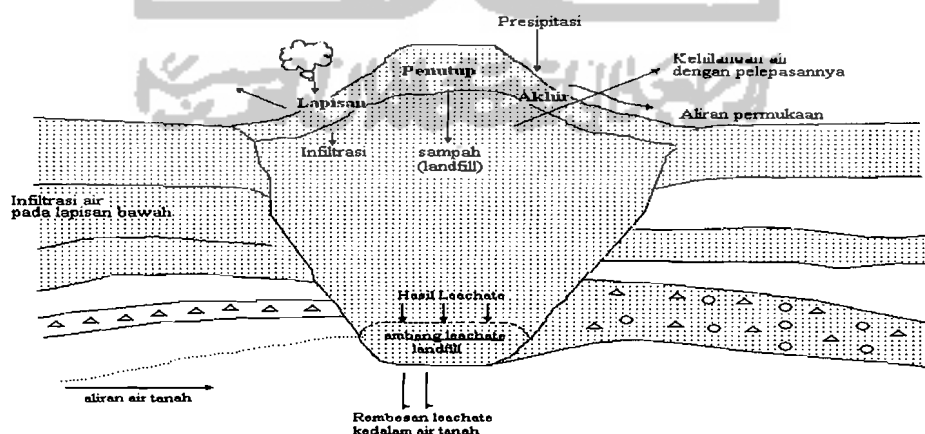
2.1.4 Pengaruh Lindi

Cairan sampah atau air lindi yang keluar akibat pembusukan sampah berpotensi mematikan nyawa makhluk hidup termasuk manusia karena didalam air lindi terdapat berbagai macam bahan organik, termasuk bakteri *coliform* dan

salmonella yang merupakan penyebab penyakit diare dan disentri pada manusia. Jika air lindi tidak disalurkan pada saluran yang ada, maka lindi itu akan meresap ke dalam tanah dan mencemari air tanah.

Pengaruh lindi terhadap polusi air adalah sebagai berikut :

- a. Air permukaan yang terpolusi oleh lindi dengan kandungan organik yang tinggi pada proses penguraian secara biologis akan menghabiskan oksigen dalam air dan pada akhirnya seluruh kehidupan yang tergantung pada air akan mati.
- b. Air tanah yang tercemar oleh lindi dengan konsentrasi tinggi, menyebabkan polutan tersebut akan menetap pada air tanah dalam jangka waktu yang lama, karena terbatasnya oksigen yang terlarut, sumber air baku yang berasal dari air tanah yang terpolusi tersebut dalam jangka waktu yang lama tidak sesuai lagi untuk sumber air bersih. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Rembesan lindi ke dalam air tanah

Sumber : Chatib, 1986.

2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Menurut *Metcalf and Eddy (1991)*. *COD* adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter *COD* mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. Tes *COD* digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi, dihitung dengan menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam. Kadar *COD* dalam lindi pada umumnya lebih banyak terdapat senyawa yang dapat dioksidasi secara kimia dari pada secara biologis.

Perbedaan antara *COD* dan *BOD* (Benfield dan Randall, 1980), yaitu :

1. Angka *BOD* adalah jumlah komponen organik biodegradable dalam air buangan, sedangkan tes *COD* menentukan total organik yang dapat teroksidasi, tetapi tidak dapat membedakan komponen *biodegradable / non biodegradable*.
2. Beberapa substansi anorganik seperti sulfat dan tiosulfat, nitrit dan besi ferrous yang tidak akan terukur dalam tes *BOD* akan teroksidasi oleh kalium dikromat, membuat nilai *COD* anorganik yang menyebabkan kesalahan dalam penetapan komposisi organik dalam laboratorium.
3. Hasil *COD* tidak tergantung pada aklimasi bakteri, sedangkan hasil tes *BOD* sangat dipengaruhi aklimasi seeding bakteri.

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi yaitu jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimiawi, atau banyaknya oksigen-oksigen yang

dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O . Pada reaksi oksigen ini hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dalam suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (*BOD*) tidak sama semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri. *COD* ini secara khusus bernilai apabila *BOD* tidak dapat ditentukan karena terdapat bahan-bahan beracun. Waktu pengukurannya juga lebih singkat dibandingkan pengukuran *BOD*. Namun demikian bahwa *BOD* dan *COD* tidak menentukan hal yang sama dan karena itu nilai-nilai secara langsung *COD* tidak dapat dikaitkan dengan *BOD*. Hasil pengukuran *COD* tidak dapat membedakan antara zat organik yang stabil dan yang tidak stabil. *COD* tidak dapat menjadi petunjuk tentang tingkat dimana bahan-bahan secara biologis dapat diseimbangkan. Namun untuk semua tujuan yang praktis *COD* dapat dengan cepat sekali memberikan perkiraan yang teliti tentang zat-zat arang yang dapat dioksidasi dengan sempurna secara kimia (Mahida, 1984).

Pengukuran nilai *COD* sangat diperlukan untuk mengukur bahan organik pada air buangan industri dan domestik yang mengandung senyawa / unsur yang beracun bagi mikroorganisme (Metcalf & Eddy, 1991).

Uji *COD* pada umumnya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi dibandingkan dengan uji *BOD*, karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji *COD*. *Sellulosa* adalah salah satu contoh yang sulit diukur melalui uji *BOD* karena sulit dioksidasi melalui reaksi biokimia, akan tetapi dapat diukur melalui uji *COD*. (Pramudya, 2001).

2.3 Total Suspended Solid (TSS)

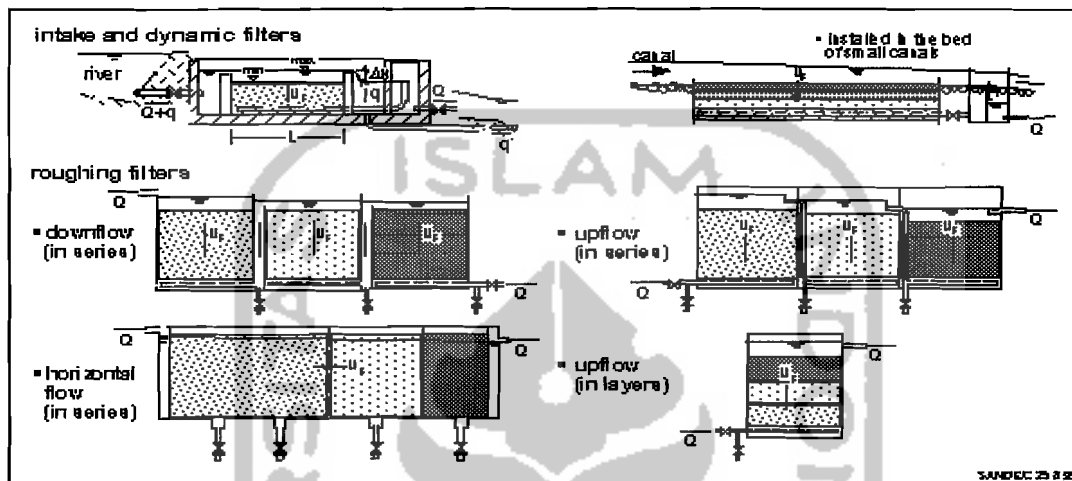
Menurut Mustofa (1997), *Total Suspended Solid (TSS)* yaitu jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada didalam air limbah setelah mengalami proses penyaringan dengan membran berukuran 0,45 mikron. Padatan-padatan ini menyebabkan kekeruhan air tidak terlarut dan tidak dapat mengendap langsung. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari pada sedimen, seperti bahan-bahan organik tertentu, tanah liat dan lain – lain. Air buangan selain mengandung padatan tersuspensi dalam jumlah yang bervariasi, juga sering mengandung bahan-bahan yang bersifat koloid. Padatan terendap dan padatan tersuspensi akan mengurangi penetrasi sinar matahari kedalam air, sehingga dapat mempengaruhi regenerasi oksigen secara *fotosintesis*. Pengukuran langsung *TSS* sering memakan waktu yang cukup lama. Mengukur kekeruhan (*turbiditas*) air dilakukan untuk dapat memperkirakan *TSS* dalam suatu contoh air dengan *turbidimeter* yang mengukur kemampuan cahaya untuk melewati suatu sampel air. Kenaikan yang mendadak padatan tersuspensi dapat disebabkan oleh erosi tanah, pembakaran sampah kota yang kapasitasnya menuru, jika terjadi hujan lebat. Sampah yang kebanyakan dari zat organik tersebut banyak memerlukan oksigen selama diuraikan. Kejernihan air yang rendah menunjukkan produktivitas yang tinggi, karena sifat kejernihan berhubungan dengan produktivitas.

2.4 Teknologi Roughing Filter

Filter yang menggunakan media dengan diameter lebih dari 2 mm disebut sebagai *roughing filter*. Roughing filter merupakan salah satu jenis filter yang mudah diterapkan di lapangan. Pada prinsipnya *roughing filter* dipergunakan untuk menurunkan beban organik pada proses di hilir dan pada penerapan-penerapan nitrifikasi musiman sehingga suatu proses biologis disebelah hilir dapat diandalkan untuk menitrifikasi air buangan selama musim kemarau. Sebagai suatu filter, partikel yang dihilangkan pada *roughing filter* sangat kecil dibandingkan dengan rongga pori pada media. Jadi proses filtrasi yang terjadi bukanlah *straining*. Proses-proses dasar roughing filter adalah pengendapan pada pori dan *adhesi* pada partikel-partikel media. Pada *roughing filter* terjadi *deep penetration* zat-zat tersuspensi ke dalam lapisan media. *Roughing filter* mempunyai kapasitas penampungan lumpur yang besar. Zat-zat padat yang tertahan oleh filter dibersihkan dengan pembilasan atau jika perlu dengan menggali media filter, mencucinya dan menggantinya. *Roughing filter* menggunakan media yang jauh lebih besar dari media untuk *rapid sand filter* atau lebih tinggi dari kecepatan yang digunakan pada *rapid sand filter*, tergantung pada jenis filter, sifat kekeruhan dan penurunan kekeruhan yang diinginkan.

Rouging Filter utamanya digunakan untuk memisahkan material padatan dari air. *Roughing filter* merupakan proses yang lebih efektif untuk meremoval material padatan dari pada sedimentasi. Reaktor ini biasanya berisi material dengan ukuran yang berbeda pada aliran langsung. Bagian terbesar padatan dipisahkan oleh medium filter kasar untuk selanjutnya menuju filter inlet.

Pengoperasian dilakukan pada *hydraulic loads* yang kecil, dengan kecepatan filtrasi antara 0,3 - 1,5 m/jam. Desain dan aplikasi roughing filter sangat bervariasi bentuknya, seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.3. Tipe Roughing Filter
(Sumber ; Wegelin, 1996)

2.4.1 Klasifikasi Filter

Klasifikasi filter berdasarkan ukuran material filter dan kecepatan filtrasi dengan kategori sebagai berikut :

Tabel 2.2. Klasifikasi filter berdasarkan ukuran filter

No	Tipe Filter	Ukuran Media Filter (mm)	Kecepatan Filtrasi (m/jam)
1	Rock Filter	> 50 mm	1 - 5
2	Roughing Filter	20 - 4 mm	0,3 - 1,5
3	Rapid Sand Filter	4 - 1 mm	5 - 15
4	Slow Sand Filter	0,35 - 0,15 mm	0,1 - 0,2

(Sumber ; Wegelin, 1996).

Tipe filter ini menggunakan gravel sebagai media filter yang dioperasikan tanpa bahan kimia, tidak dilengkapi dengan perlengkapan mekanik untuk operasi dan pemeliharaan, perbedaan dari tipe roughing filter adalah diklasifikasikan berdasarkan dibawah ini :

1. Lokasi dan suplai air
2. Tujuan aplikasi
3. Aliran
4. Desain filter
5. Teknik pembersihan filter

Roughing Filter umumnya ditempatkan pada Instalasi Pengolahan dan digunakan sebagai proses pra-pengolahan, kemudian dilanjutkan dengan slow sand filter. Filter ini dapat dioperasikan sebagai up flow, down flow atau horizontal flow filter. Perbedaan fraksi gravel dari roughing filter dapat dibuat di kompartemen yang berbeda dan dioperasikan dengan seri atau ditempatkan di kompartemen yang sama. Pembersihan filter dilakukan dengan manual dan hidraulik. Secara manual dilakukan dengan membersihkan bagian atas dari filter dengan sekop atau penggaruk sedangkan secara hidraulik dilakukan dengan flushing (pencucian) solid media filter (Wegelin, 1996).

2.4.2 Aspek Umum dari Desain Roughing Filter

Bagian penting dari filter adalah bagian yang terdiri dari material filter. Sebuah filter terdiri dari 6 elemen yaitu (Wegelin, 1996) :

1. Kontrol aliran inlet

Inflow ke sebuah filter harus dikurangi pada pemberian debit dan tetap dipertahankan. Sangat penting untuk mempertahankan kondisi aliran agar konstan untuk mencapai operasi filter yang efisien.

2. Distribusi Air Baku

Pendistribusian air baku di filter harus homogen untuk mencapai kondisi aliran yang seragam pada filter, karena itu aliran dari pipa atau saluran harus sama rata didistribusikan ke seluruh permukaan filter.

3. Media Filter

Filter terdiri dari tingkatan material filter. Bentuk bangunan filter normalnya persegi panjang dengan dinding vertikal. Tetapi hal ini tergantung dari teknik konstruksinya, bentuk tabung dan dinding yang miring juga bisa di bangun. Biasanya yang digunakan sebagai media filter adalah gravel disekitar sungai atau pecahan batu-batu dengan ujung yang tajam. Meskipun banyak dari material yang tahan untuk kecepatan mekanik, tidak larut dan tidak lemah untuk kualitas air (warna dan bau) dapat digunakan sebagai media filter.

4. Pengumpulan Air yang telah diolah

Pengumpulan air hasil olahan harus seragam ke seluruh filter, baik untuk aliran horizontal dengan konstruksi *baffle* berlubang pada tiap sekat. Outlet adalah penting untuk pengumpulan dari air yang diolah.

5. Kontrol Aliran Outlet

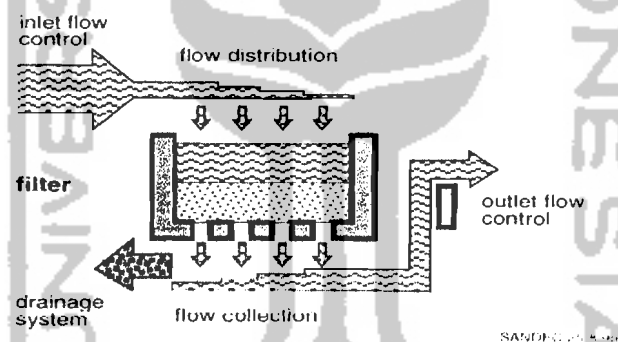
Kontrol aliran outlet sangat berfungsi untuk mencegah filter dari kekeringan. Pembersihan secara hidroulik dari sebuah pengeringan *Roughing Filter* yang

dipenuhi dengan akumulasi solid dan bahan-bahan yang mengendap lainnya adalah sangat sulit jika bagian tidak memungkinkan. Karena itu, semua *Roughing Filter* harus dioperasikan di bawah kondisi jenuh. Sebuah *weir* dan pipa *effluent* aerasi mempertahankan air diatas level filter bed. Sebuah bendungan V-Notch boleh digunakan untuk pengukuran pada outlet filter.

6. Sistem Drainase

Sistem drainase dari *Roughing Filter* disiapkan untuk 2 tujuan:

1. Untuk pembersihan filter secara hidraulik
2. Untuk melengkapi dari kegiatan pemeliharaan atau perbaikan



Gambar 2.4 Bagian Terpenting dari Roughing Filter
(Sumber ; Wegelin, 1996).

2.4.3 Kriteria Desain Roughing Filter

Desain *Roughing Filter* mempunyai 3 tujuan, yaitu :

1. Mengurangi kekeruhan dan konsentrasi SS (mg/l)
2. Menghasilkan Q output spesifik setiap hari (m^3/s)
3. Mengijinkan operasional yang cukup berdasarkan determinan waktu running filter T_r (hari/minggu).

Kriteria desain untuk roughing filter (Wegelin, 1996) yaitu :

1. Kecepatan filtrasi (V_f), umumnya berkisar antara 0.3 - 1 m/jam
2. Ukuran rata-rata media filter yaitu range antara 20 – 4 mm.

Fraksi media filter dapat dilihat pada tabel 2.2, direkomendasikan seragam.

3. Panjang li (m) dari setiap media filter yang spesifik.

Setiap panjang li dari material filter tergantung pada tipe filter. Hal ini boleh berubah besarnya kedalaman dari *upflow roughing filter* dibatasi dengan bangunan, umumnya antara 80 dan 120 cm. Panjangnya dalam hal ini tidak dibatasi, tetapi panjang normalnya 5 dan 7 m.

4. Angka n1 dari fraksi filter

Angka n1 dari fraksi filter bergantung juga pada tipe filter. Permukaan filter boleh hanya 1 fraksi saja dimana roughing filter biasanya terdiri dari 3 fraksi gravel. Dimensi reaktor biasanya 3 : 2 : 1

5. Tinggi (H) dari luas permukaan filter (A)

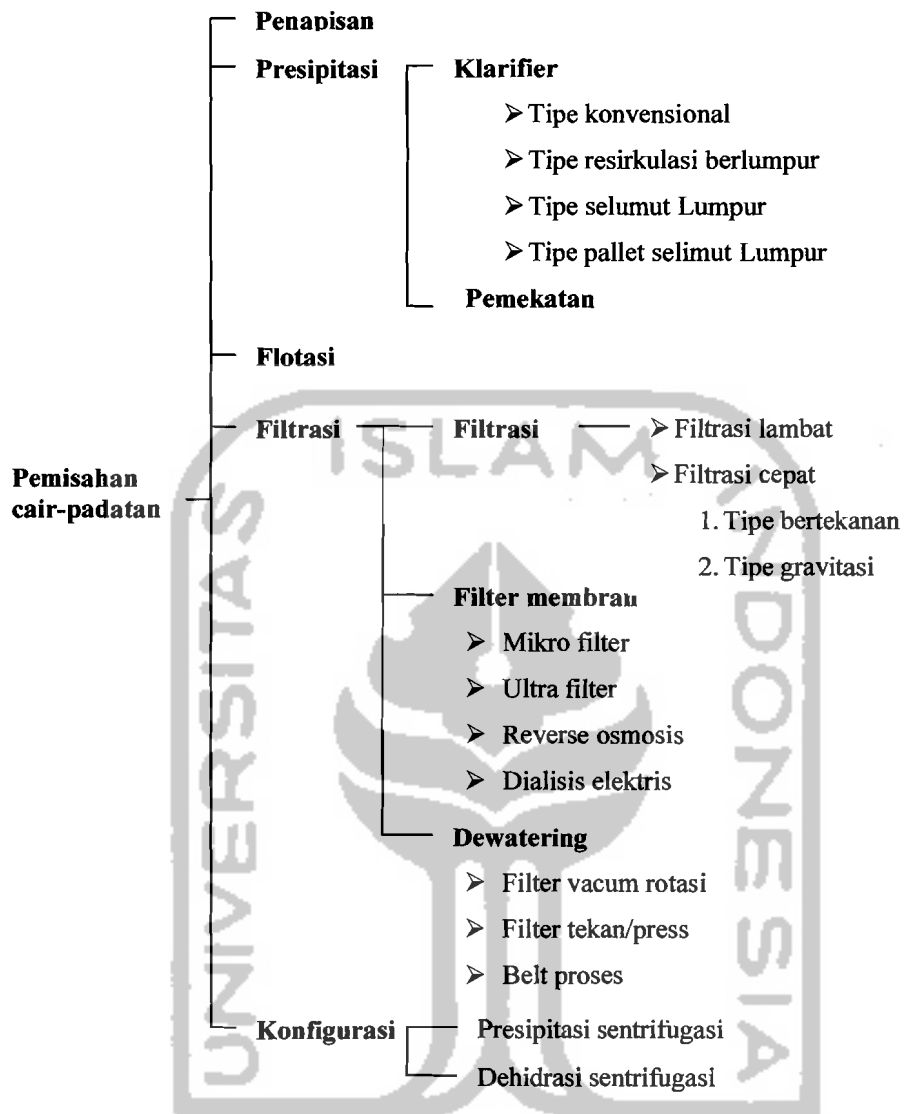
Tergantung pada aspek struktural dan operasional. Direkomendasikan 1 - 2 m untuk menghindarkan dari masalah ketinggian air. Kedalaman 1 m juga dimungkinkan bila menggunakan pembersihan filter secara manual dilakukan dengan mudah untuk meremoval material filter. Lebar filter harus tidak melebihi 4 - 5 m dan luas permukaan untuk filter aliran vertikal harus tidak lebih besar dari 25 – 30 m² dan 4 – 6 m² untuk roughing filter aliran horizontal.

2.5. Jenis - Jenis Pengolahan Limbah

Menurut *Anonim (2006)*, berbagai teknik pengolahan air buangan untuk menyisahkan bahan polutannya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Teknik-teknik pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut secara umum terbagi menjadi tiga metode pengolahan :

1. Pengolahan secara fisika

Pada umumnya sebelum dilakukan pengolahan lanjutan terhadap air buangan, diinginkan agar bahan – bahan tersuspensi berukuran besar dan yang mudah mengendap disisahkan terlebih dahulu. Penyaringan (*screening*) merupakan cara yang efisien dan murah untuk menyisahkan bahan tersuspensi yang berukuran besar. Bahan tersuspensi yang mudah mengendap dapat disisahkan dengan proses pengendapan. Parameter desain yang utama untuk proses pengendapan ini adalah kecepatan mengendap partikel dan waktu detensi hidrolis di dalam bak pengendap. *Proses flotasi* banyak digunakan untuk menyisahkan bahan – bahan yang mengapung seperti minyak dan lemak, agar tidak mengganggu proses berikutnya. *Proses filtrasi* biasanya dilakukan untuk mendahului proses adsorpsi atau proses *reverse osmosis*-nya dilaksanakan untuk menyisahkan sebanyak mungkin partikel tersuspensi dari dalam air. *Proses adsorpsi*, biasanya dengan karbon aktif biasanya dilakukan untuk menyisahkan senyawa aromatik misalnya ; fenol dan senyawa organik terlarut lainnya.



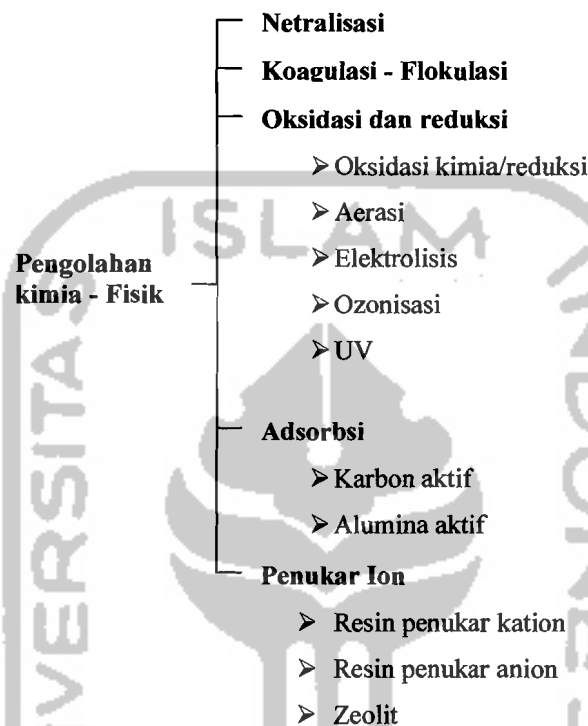
Gambar 2.5. Skema Diagram Pengolahan Fisik.

(Sumber : Anonim 2006)

2. Pengolahan secara kimia

Pengolahan air buangan secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun. Penyisihan bahan-bahan tersebut pada prinsipnya berlangsung melalui perubahan sifat

dari bahan-bahan tersebut yaitu dari tidak dapat diendapkan menjadi mudah diendapkan (*koagulasi-flokulasi*), baik dengan atau tanpa reaksi *oksidasi-reduksi*, dan juga berlangsung sebagai hasil reaksi oksidasi.



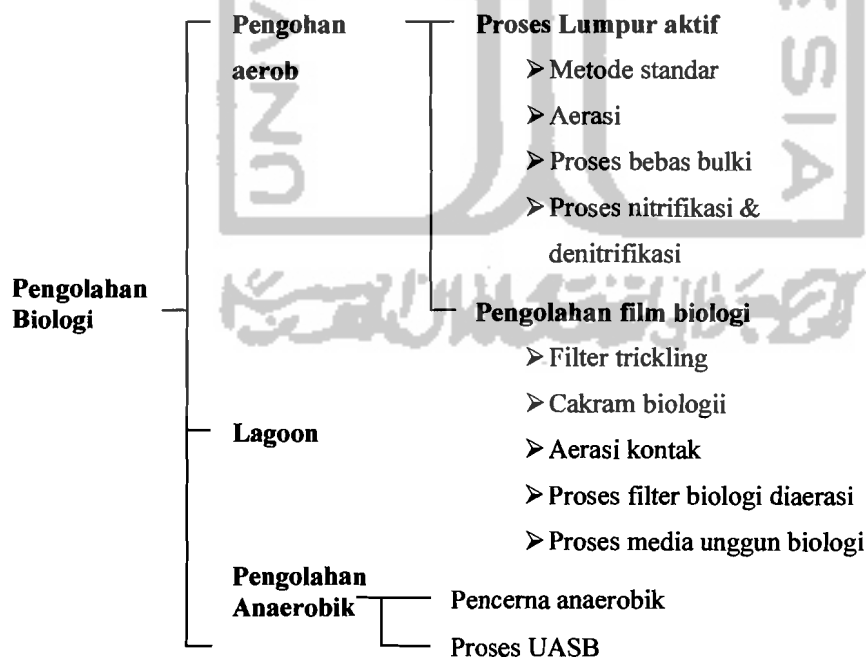
Gambar 2.6. Skema Diagram Pengolahan Kimiawi
(Sumber : Anonim 2006)

3. Pengolahan Secara Biologi

Semua air buangan yang *biodegradable* dapat diolah secara biologi. Sebagai pengolahan sekunder, pengolahan secara biologi dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien. Pada dasarnya reaktor pengolahan secara biologi dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu :

- a. *Reaktor pertumbuhan tersuspensi (suspended growth reactor)*
- b. *Reaktor pertumbuhan lekat (attached growth reactor)*

Didalam reaktor pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi, contoh dari proses ini *activated sludge*, *oxidation ditch* dan *kontak stabilitation*. Di dalam reaktor pertumbuhan lekat, mikroorganisme tumbuh diatas media dengan membentuk lapisan *film biologi* untuk melekatkan dirinya. Berbagai modifikasi telah banyak dikembangkan selama ini, antara lain ; *trickling filter*, *cakram biologi*, *filter terendam*, *reactor fluidisasi*. Seluruh dari modifikasi ini mempunyai kemampuan menurunkan *BOD* sebesar 80% - 90%. Ditinjau dari segi lingkungan dimana berlangsungnya proses penguraian secara biologi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu ; proses *aerob* dan *anaerob*. Apabila *BOD* air buangan tidak melebihi 4000 mg/l, maka proses aerob masih dianggap ekonomis dari pada proses anaerob. Pada *BOD* lebih tinggi dari 4000 mg/l, maka proses anaerob menjadi lebih ekonomis.



Gambar 2.7. Skema Diagram Pengolahan Biologi

(Sumber : Anonim 2006)

Untuk suatu jenis air buangan tertentu, ketiga metode pengolahan tersebut dapat diaplikasikan secara sendiri-sendiri atau secara kombinasi.

2. 6. Pengolahan Air Buangan Secara Biologi

Penanganan air limbah secara biologis memegang peranan kunci dari seluruh tahap penanganan limbah yang akan merombak bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah, mikroba mempunyai peranan yang tinggi dalam mendegradasi bahan organik, sehingga peranannya dalam limbah cair cukup besar (Sugiharto, 1987). Menurut (Cik, 2000), pengolahan air buangan secara biologi dilakukan dengan cara mengoksidasi bahan-bahan organik didalam air buangan yang didegradasi oleh sejumlah mikroorganisme. Transformasi bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah menjadi gas-gas CO_2 , CH_4 , dan H_2S merupakan contoh yang jelas mengenai proses yang melibatkan kegiatan mikroba.

Menurut (Betty dan Winiati, 1993), dalam sistem biologis, organisme menggunakan limbah untuk mensintesis bahan selular baru dan menyediakan energi untuk sintesis. Organisme juga dapat menggunakan persediaan makanan yang sebelumnya sudah terakumulasi secara internal atau *endogenes* untuk respirasi dan melakukannya terutama bila tidak ada sumber makanan dari luar atau *eksogenes*. Sintesis dan respirasi *endogenes* berlangsung secara simultan dalam sistem biologik dengan sintesis yang berlangsung lebih banyak bila terdapat makanan *eksogenes* yang berlebihan dan *respirasi endogenes* akan mendominasi bila suplai makanan *eksogenes* sedikit atau tidak ada. Secara umum reaksi yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut :

Limbah yang dapat dimetabolisme dan mengandung energi + Mikroorganisme \longrightarrow Produk akhir + Lebih banyak mikroorganisme

Bila pertumbuhan terhenti, mikroorganisme mati dan lisis melepaskan nutrien dari protoplasmanya untuk digunakan oleh sel-sel yang masih hidup dalam suatu proses respirasi selular *autoksidatif* atau *endogenes*. Reaksinya secara umum adalah sebagai berikut :

Mikroorganisme \longrightarrow Produk akhir + Lebih sedikit mikroorganisme

Bila tidak ada makanan, respirasi endogenes akan berlangsung lebih banyak dan akan terjadi pengurangan padatan mikroba. Massa mikroba tidak akan berkurang hingga nol bahkan bila periode respirasi endogenes berlangsung lama. Residu 20% sampai 25% massa mikroba akan tertinggal.

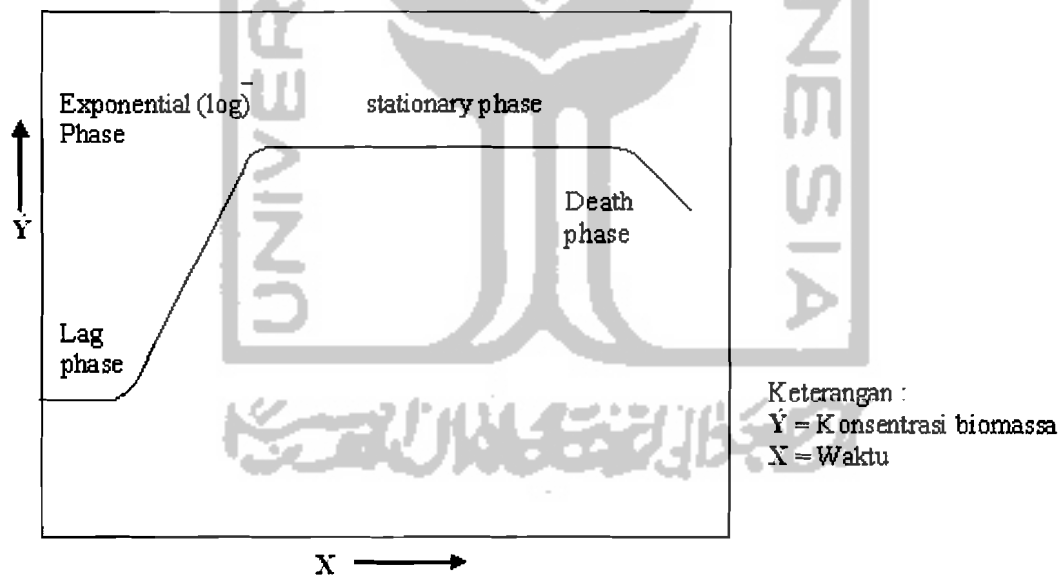
Menurut Purnamawati (1996), optimasi dari reaktor pengolahan limbah cair secara biologi ini dapat dicapai dengan memperhatikan beberapa hal :

1. Adanya sumber energi dari reaksi respirasi yang berupa aerasi atau non-aerasi.
2. Nutrisi yang berkesinambungan, yang penting untuk memenuhi semua kebutuhan biokatalis. Dalam hal ini nutrisi dapat berupa limbah cair itu sendiri, dan apabila kurang dapat ditambahkan pupuk dalam dosis dan interval waktu tertentu, tergantung dari tingkat kebutuhannya.

3. Ditiadakannya komponen penghambat media, seperti adanya zat kimia yang bersifat toksik terhadap mikroorganisme.
4. Inokulum awal yang baik dan sudah terkonidisi dengan limbah yang akan diolah.

2.7. Pertumbuhan Mikroorganisme

Populasi pertumbuhan mikroba dipelajari dengan menganalisis kurva pertumbuhan dari sebuah kultur media (Prescott, 1999). Teknik evaluasi suatu populasi mikroba baik secara kuantitatif maupun kualitatif dapat digunakan untuk memantau dan mengkaji fenomena pertumbuhan (Mangunwidjaja, 1994).



Gambar 2.8. Kurva Pertumbuhan Mikroba pada Sistem Tertutup
(Sumber : Prescott, 1999)

Menurut Prescott (1994), pertumbuhan mikroorganisme dapat diplotkan sebagai logaritma dari jumlah sel dengan waktu inkubasi. Dari hasil kurva terdiri dari empat fase (gambar 2.8).

1. Fase awal (Lag phase)

Ketika mikroorganisme diperkenalkan kepada media kultur segar, biasanya tidak ada penambahan jumlah sel atau massa, periode ini disebut fase awal. Fase awal merupakan masa penyesuaian mikroba, sejak sel mikroba diinokulasikan ke media biakan. Selama periode ini tidak terjadi penangkaran sel (Mangunwidjaja, 1994). Oleh karena itu :

$$X = X_0 = \text{tetap}$$

.....pers 2.1

dengan X_0 = Konsentrasi sel, pada $t = 0$

Laju pertumbuhan sama dengan nol.

2. Fase Eksponensial (Exponential Phase)

Menurut fase Eksponensial, mikroorganisme tumbuh dan terbagi pada angka maksimal. Pada fase ini pertumbuhannya adalah konstan mengikuti fase eksponensial. Mikroorganisme terbagi dan terbelah di dalam jumlah pada interval regular.

3. Fase Stasioner (Stationary Phase)

Fase ini yaitu ketika populasi pertumbuhan berhenti dan kurva pertumbuhan menjadi horizontal. Pada fase stasioner, konsentrasi biomassa mencapai maksimal, pertumbuhan berhenti dan

menyebabkan terjadinya modifikasi struktur biokimiawi sel (Mangunwidjaja, 1994).

4. Fase kematian (Death Phase)

Kondisi lingkungan yang merugikan seperti penurunan nutrisi dan menimbulkan limbah racun, mengantarkan berkurangnya jumlah dari sel hidup sehingga menyebabkan kematian.

2.8. Proses Pengolahan Secara Anaerobik

Proses penanganan secara anaerobik merupakan proses penanganan biologi, dimana suatu proses dapat berjalan tanpa adanya oksigen terlarut. Bahkan mikrobia yang bersifat *obligat anaerobik* tidak dapat hidup bila ada oksigen terlarut. Bakteri tersebut antara lain bakteri metana yang umumnya terdapat dalam *digester anaerobik* dan *lagoon anaerobik*. Anaerobik memperoleh energi dari oksidasi bahan organik kompleks tanpa menggunakan oksigen terlarut, tetapi menggunakan senyawa-senyawa lain sebagai pengoksidasi. Senyawa pengoksidasi selain oksigen yang dapat digunakan oleh mikroorganisme termasuk karbon dioksida, senyawa-senyawa karbon yang teroksidasi sebagian, sulfat dan nitrat (Jenie, 1990).

Faktor – faktor yang berpengaruh pada proses anaerobik adalah sebagai berikut (Jenie, 1990) :

a. pH

pH yang optimal untuk berlangsungnya proses anaerobik berkisar antara pH 6,5 sampai 7,5. Pada sistem anaerobik, asam organik sudah

akan terbentuk pada pertama fermentasi. Apabila proses oksidasi asam organik tersebut lebih lambat dari proses pembentukannya maka dapat dimengerti bila konsentrasi asam organik dalam sistem akan meningkat dan mempengaruhi besarnya pH (pH turun).

b. Suhu

Suhu yang optimal untuk proses fermentasi metana adalah sekitar 37 °C hingga 40 °C. Bakteri – bakteri anaerobik yang bersifat *mesofilik* biasanya dapat tumbuh pada suhu 20 °C hingga 45 °C, pada suhu diatas 40 °C produksi gas metan akan menurun dengan tajam.

c. Pencampuran

Adanya ion logam yang berlebih tidak dikehendaki pada proses fermentasi metana, karena akan menyebabkan keracunan bagi mikroba pada konsentrasi tertentu. Ion-ion logam yang bersifat racun tersebut antara lain adalah Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ yaitu bila konsentrasinya lebih dari 1000 mg/l. Sedangkan bila konsentrasi ion logam tersebut hanya sekitar 50 sampai 200 mg/l, maka pengaruh yang ditimbulkannya adalah pengaruh yang menguntungkan, karena memberi pengaruh stimulasi.

d. Waktu Retensi

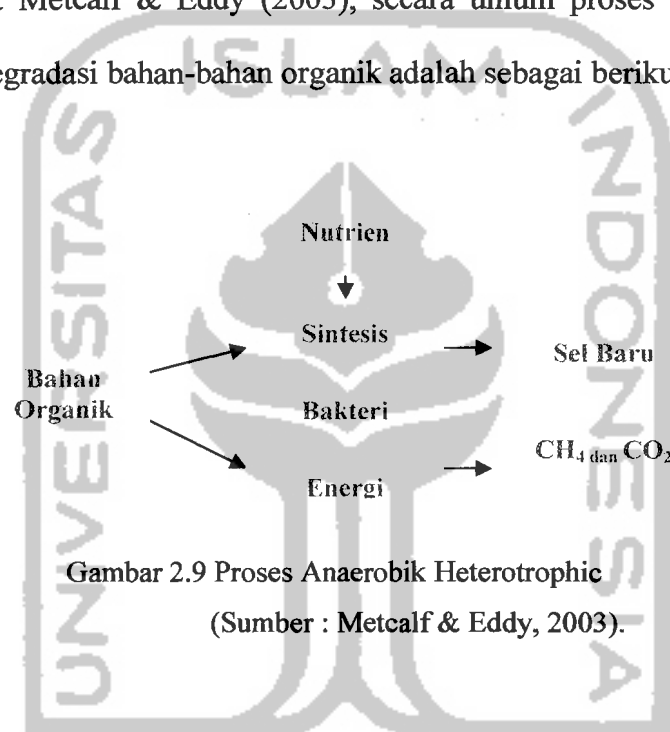
Waktu retensi minimum untuk proses anaerobik umumnya 24 jam

e. Nutrisi

Bahan-bahan organik biasanya mengandung nutrisi yang cukup baik untuk pertumbuhan mikroba. Pada proses anaerobik ini, media yang

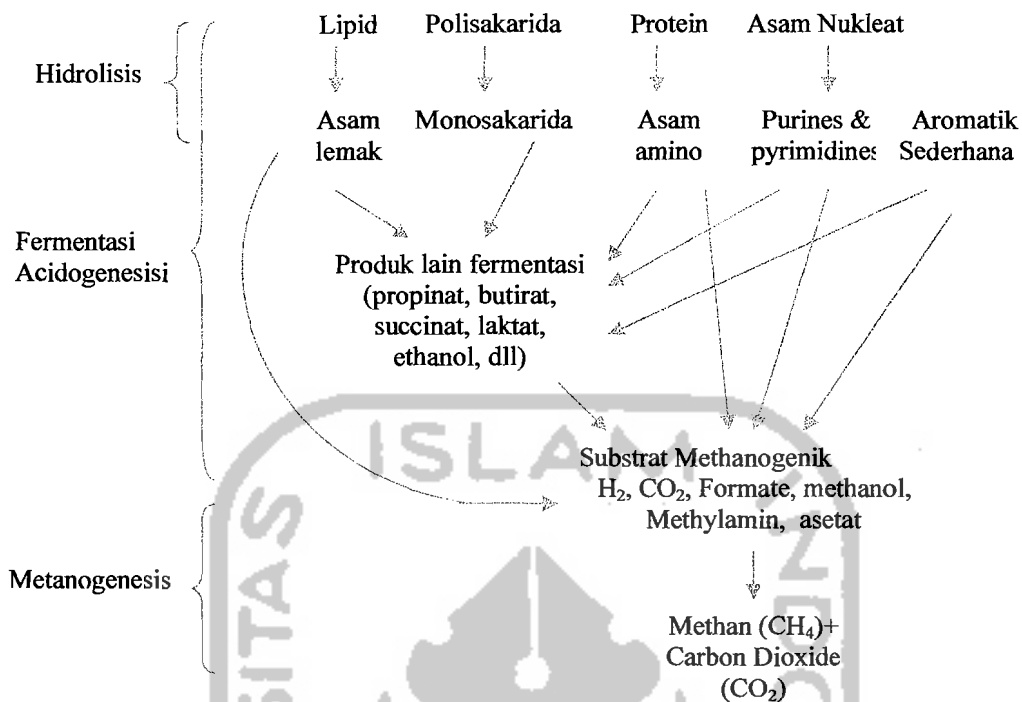
mempunyai kandungan nutrisi tertentu yang optimum akan sangat mempengaruhi proses. Perbandingan unsur *karbon, nitrogen* dan *fosfat* layak untuk diperhatikan yaitu biasanya dalam perbandingan *Karbon : Nitrogen : Fosfat* = 150 : 55 : 1.

Menurut Metcalf & Eddy (2003), secara umum proses anaerobik yang terjadi dalam degradasi bahan-bahan organik adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9 Proses Anaerobik Heterotrophic
(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003).

Perombakan bahan-bahan organik dalam proses anaerobik memiliki tiga tahap dasar yang terlibat dalam keseluruhan proses oksidasi anaerobik pada limbah yaitu : (1) hidrolisis, (2) fermentasi (juga disebut sebagai acidogenesis), dan (3) metanogenesis. Tiga langkah dasar tersebut diilustrasikan secara skematis dalam gambar 2.10. Titik awal pada skema untuk suatu aplikasi tertentu tergantung pada sifat limbah yang diproses (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2.10. Skematik Proses Anaerobik (hidrolisis, fermentasi dan Metanogenesis)

(Sumber Metcalf & Eddy, 2003)

1. Hidrolisis

Sebagian besar proses fermentasi, dimana bahan partikulat diubah menjadi senyawa-senyawa yang dapat larut kemudian dihidrolisis menjadi monomer-monomer sederhana yang digunakan oleh bakteri yang menyebabkan terjadinya proses fermentasi sehingga disebut *hidrolisis*. Untuk beberapa limbah cair industri tertentu, fermentasi menjadi tahap pertama dalam proses anaerobik.

2. Fermentasi

Proses fermentasi (acidogenesis). Dalam proses fermentasi, asam amino, gula dan sejumlah asam lemak diturunkan derajatnya,

ditunjukkan dalam Gambar 2.10. Substrat organik bertindak baik sebagai donor maupun aseptor elektron. Produk utama fermentasi berupa asetat, hidrogen, CO₂, dan propinat serta butirir. Propinat dan butirir selanjutnya difermentasi agar memproduksi hidrogen, CO₂, dan asetat. Jadi, produk-produk akhir fermentasi (*asetat, hidrogen, dan CO₂*) adalah precursor pembentukan metan (methanogenesis). Perubahan energi bebas yang dihubungkan dengan perubahan propionat dan butirir menjadi asetat dan hidrogen menuntut hidrogen berada pada konsentrasi rendah didalam sistem ($H_2 < 10^{-4}$ atm), atau reaksi tersebut tidak akan berlanjut.



3. Metanogenesis

Metanogenesis, dilakukan oleh sekelompok organisme yang dikenal secara kolektif sebagai methanogenesis. Dua kelompok organisme methanogenik itu terlibat dalam produksi metan. Satu kelompok, diistilahkan hydrogen-utilizing methanogen, menggunakan hidrogen sebagai donor elektron dan CO₂ sebagai aseptor elektron untuk memproduksi metan. Bakteri didalam proses-proses anaerobik, disebut *acetogens*, juga mampu menggunakan CO₂ untuk mengoksidasi hidrogen dan membentuk asam asetat. Bagaimanapun juga, asam asetat tersebut akan diubah menjadi metan, sehingga pengaruh reaksi

ini termasuk kecil. Sebagaimana yang ditunjukkan dalam gambar 2.10, kira-kira 72% metan yang diproduksi dalam digester anaerobik berasal dari pembentukan asetat.



Bakteri – bakteri yang berperan dalam proses anaerobik ini yaitu :

1. *Streptococci bakteriodes* dan sedikit bakteri *Entrobacteriaceae*

Bakteri ini berperan dalam proses perombakan bahan organik menjadi asam.

2. *Desulfuvibrio* dan *Eschericia Coly*

Bakteri ini berperan dalam proses pembentukan asam asetat, yaitu proses perombakan asam – asam organik menjadi asam asetat.

3. *Methanobacterilium*, *Methanococcus* dan *Methanobacilus*

Bakteri ini berperan dalam pembentukan metan, dimana bahan – bahan organik dan asam asetat diubah menjadi metan dan karbondioksida.

Waktu yang dibutuhkan oleh bakteri methanogen untuk membelah diri yaitu 0,5 – 5 hari. Sdangkan gas yang dihasilkan dalam setiap kg COD terolah adalah sebesar $0,35 \text{ m}^3$. (Tchobanoglous, 1991)

Fungsi bakteri yang penting disini adalah menguraikan asam asetat dan asam amino. Kecepatan pertumbuhan mereka sangat lambat, sehingga dalam

metabolisir limbah organik secara anaerobik juga terbatas. Bakteri lebih toleran terhadap perubahan pH dan suhu, serta mempunyai kecepatan pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri pembentuk fermentasi metan pada umumnya digunakan untuk mengontrol langkah proses pada penguraian limbah secara anaerobik. Pengaruh dari perubahan pH terhadap sistem sangat besar, oleh karena itu perubahan pH yang terjadi harus selalu dimonitor. Hal ini disebabkan antara lain pada sistem anaerobik, asam organik sudah akan terbentuk pada tahap pertama fermentasi. Bila proses oksidasi asam organik tersebut lebih lambat dari proses pembentukannya, maka konsentrasi organik dalam sistem akan meningkat dan mempengaruhi besarnya pH.

Karakteristik pengolahan Anaerobik

1. Mampu menerima beban organik yang tinggi per-satuan volume reaktornya, sehingga volume reaktor relatif lebih kecil dibandingkan dengan proses aerobik.
2. Tanpa energi untuk prosesnya tetapi dapat menghasilkan energi.
3. Menghasilkan surplus lumpur yang rendah.
4. Pertumbuhan mikroba yang lambat.
5. Membutuhkan stabilitas pH pada daerah netral (6,5 – 7,5)

2. 9. Sistem Pertumbuhan Lekat (*Attached Growth System*)

Sistem pertumbuhan lekat adalah suatu sistem penggunaan mikroba pada proses dekomposisi suatu bahan dengan cara menumbuhkannya pada permukaan suatu media. Dalam hal ini mikroba yang berperan dalam proses akan tumbuh dan

berkembang melekat pada permukaan media membentuk suatu lapisan tipis biomassa.

Menurut *Jenie dan Winiati (1995)*, pertumbuhan mikroba akan melekat bila mikroba tersebut tumbuh pada media padat sebagai pendukung dari aliran limbah yang kontak dengan mikroorganisme. Media pendukung antara lain batu-batu besar, karang, lembar plastik bergelombang, atau cakram berputar. Contoh unit pertumbuhan melekat untuk pengolahan limbah cair adalah filter yang menetes atau trickling filter, cakram biologi berputar dan filter anaerobik. Sistem pertumbuhan lekat adalah sistem pertumbuhan mikroba pada proses dekomposisi suatu bahan dengan cara menumbuhkannya pada permukaan suatu media. Dalam hal ini mikroba yang berperan didalam proses akan tumbuh dan berkembang melekat pada permukaan media membentuk suatu lapisan tipis biomassa (biofilm).

Biofilm merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan suatu lingkungan kehidupan yang khusus dari sekelompok mikroorganisme, yang melekat pada suatu permukaan padat dalam lingkungan perairan, hal ini menandakan mikrolingkungan yang unik dimana mikroorganisme dalam biofilm berbeda secara struktural maupun fungsional dengan yang hidup bebas (*planktonik*). *Biofilm* terbentuk karena adanya interaksi antara bakteri dan permukaan yang ditemeli. Interaksi ini terjadi dengan adanya factor-faktor yang meliputi kelembaban permukaan, makanan yang tersedia, pembentukan *matrik ekstraseluler* yang terdiri dari *polisakarida*, factor-faktor fisiko kimia seperti interaksi muatan permukaan dan bakteri, ikatan ion, ikatan *Van Der Waals*, pH

dan tegangan permukaan serta pengkondisian permukaan, dengan kata lain terbentuknya biofilm adalah karena adanya gaya tarik antara kedua permukaan dan adanya alat yang menjembatani pelekatan (matrik eksopolisakarida) (Jamilah, 2003).

Ketebalan lapisan bifilm sangat tergantung pada jumlah material organik dan oksigen yang tersedia untuk pertumbuhan mikroorganisme. Ketebalan lapisan biofilm memiliki keterbatasan sampai nutrisi mampu menjangkau mikroorganisme yang terletak pada lapisan paling dalam. Pada saat tertentu ketebalan lapisan bifilm akan mencapai ketebalan maksimum dimana pada kondisi ini, sumber makanan dan nutrisi tidak mampu berdifusi sampai ke lapisan yang paling dalam. Akibat terhentinya persediaan makanan, maka mikroorganisme pada lapisan bagian dalam akan mengalami respirasi *endogenus* dengan memanfaatkan sitoplasmanya untuk mempertahankan hidup. Pada kondisi seperti ini mikroorganisme akan kehilangan kemampuan untuk menempel pada media, kemudian terlepas dan terbawa keluar dari sistem biofilter bersama dengan aliran air, mekanisme pengelupasan ini dikenal sebagai *sloughing* (Slamet dan Masduqi, 2000).

Sistem pertumbuhan lekat ini terbagi menjadi (Metcalf & Eddy, 2003) :

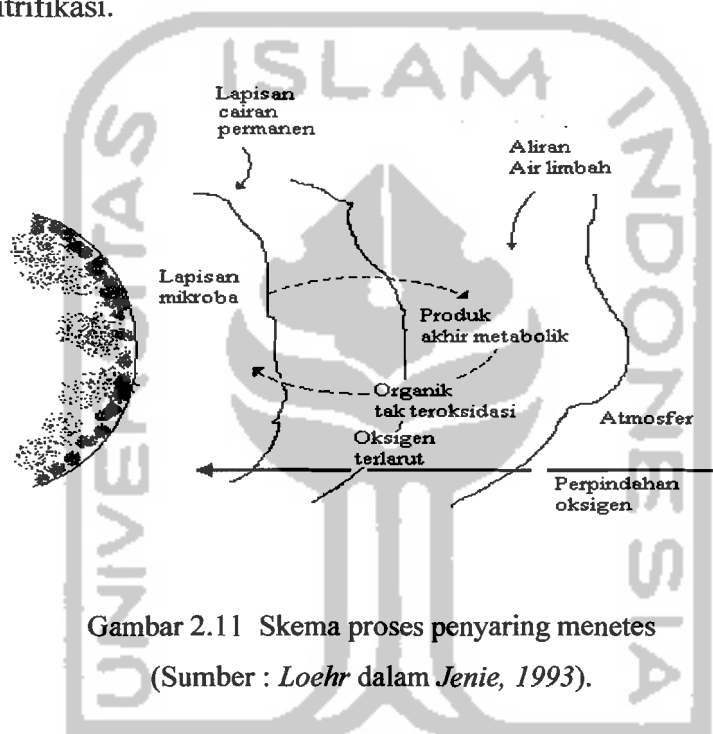
a. Pertumbuhan lekat *aerob*

Proses pengolahan dengan pertumbuhan lekat aerob adalah untuk mengolah materi organik pada air buangan dan juga digunakan untuk mencapai proses nitrifikasi. Proses pertumbuhan lekat aerob terdiri dari

trickling filter, *rotating biological contactor*, dan *reaktor fixed film nitrifikasi*.

b. Pertumbuhan lekat *anaerob*

Proses pengolahan dengan pertumbuhan lekat anaerob terdiri dari *anaerobic filter* dan *expanded-bed* yang digunakan untuk proses nitrifikasi.



Gambar 2.11 Skema proses penyaring menetes
(Sumber : *Loehr* dalam *Jenie*, 1993).

2.10. Sistem Pertumbuhan Tersuspensi (*Suspended Growth System*)

Menurut *Jenie dan Winiati (1993)*, pertumbuhan tersuspensi merupakan istilah campuran antara organisme dengan limbah organik. Pertumbuhan tersuspensi dapat terjadi pada reaktor aerob maupun anaerob. Mikroorganisme mampu membentuk gumpalan menjadi masa flokulan dan mampu bergerak dalam aliran cairan. Contoh dari pertumbuhan tersuspensi yaitu *unit lumpur aktif*, *lagoon aerasi*, *parit oksidasi*, dan *digester anaerobik* yang tercampur baik.

Menurut *Metcalf & Eddy (2003)*, dalam pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme yang bertanggung-jawab untuk pengolahan dipertahankan didalam suspensi larutan melalui metode-metode pencampuran yang tepat. Sebagian besar proses pertumbuhan tersuspensi yang digunakan dalam pengolahan limbah cair perkotaan dan industri dioperasikan dengan konsentrasi oksigen terlarut positif (aerobik), tetapi dalam aplikasinya digunakan reactor-reactor anaerobik pertumbuhan tersuspensi, seperti misalnya untuk endapan/kotoran organik dan limbah cair industri konsentrasi bahan organik yang cukup tinggi. Proses pertumbuhan tersuspensi paling umum yang digunakan untuk pengolahan limbah air perkotaan adalah proses *activated sludge*. Proses Lumpur aktif tersebut dikembangkan sekitar tahun 1913 di *Lawrence Experiment Station* di *Massachusetts* oleh *Clark dan Gage* serta oleh *Ardern dan Lockett (1914)* di *Manchester Sewage Works in Manchester*, Inggris. Dinamakan proses lumpur aktif, karena melibatkan produksi massa mikroorganisme diaktifkan yang mampu menstabilkan suatu limbah dalam kondisi aerobik.

Di tanki pengisian, waktu kontak disediakan untuk pencampuran dan pengisian influen limbah cair dengan suspensi mikroba, umumnya disebut sebagai *Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)* atau *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLSVS)*. Cairan bercampur itu kemudian mengalir ke bak pengendap, dimana suspensi mikroba berada disitu dan menebal. Biomassa yang ada disana, yang digambarkan sebagai Lumpur aktif karena keberadaan mikroorganisme-mikroorganisme aktif, dikembalikan ke tanki pengisian (resirkulasi) untuk melanjutkan biodegradasi bahan organik influen. Bagian dari

zat-zat padat yang mengendap dibuang setiap hari atau secara berkala bila proses tersebut memproduksi biomassa yang berlebihan yang bisa terkumpul bersama-sama dengan zat-zat padat tidak terurai yang terkandung didalam influen limbah cair. Jika zat-zat padat yang terakumulasi itu tidak dibuang, maka akan ikut keluar bersama efluen.

Hal penting dari proses Lumpur aktif adalah pembentukan partikel-partikel flok, ukurannya berkisar antara 50 sampai 200 μm , yang bisa diendapkan melalui gravitasi, membuat cairan relatif jernih sebagai efluen olahan. Biasanya, lebih dari 99% zat padat tersuspensi bisa dihilangkan dalam tahap klarifikasi.

2.11 Hipotesa

Bahwa pemanfaatan efek biologis dari teknologi anaerobik horizontal roughing filter dengan pertumbuhan melekat (attached Growth) :

1. Dapat menurunkan kadar COD pada lindi sampah domestik.
2. Dapat menurunkan kadar TSS pada lindi sampah domestik.