BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Manusia merupakan mahluk yang paling sempurna yang diciptakan oleh Allah SWT. dibandingkan dengan makluk lain yang ada dimuka bumi, karena manusia diberikan kelebihan atas akal dan perasaan. Dengan perasaan manusia mengatur hubungan dalam berperikehidupan, dan dengan akal manusia dapat bertahan hidup dan berkembang sampai saat ini.

Dengan adanya perkembangan zaman yang sangat cepat manusiapun memerlukan kebutuhan hidup yang semakin tinggi, baik mengenai jumlah, kualitas dan jenisnya. Sisa dari pemanfaatan barang-barang kebutuhan hidup inilah yang akan dibuang dan disebut sebagai sampah, semakin besar kebutuhan manusia berarti semakin banyak jumlah sampah yang dihasilkan. Untuk menangani sampah-sampah itu yang dihasilkan dari aktifitas-aktifitas manusia maka dibuatlah sebuah tempat untuk penampungan dan penanganan sampah, tempat inilah yang sering dikenal dengan tempat pembuangan akhir (TPA).

Di Indonesia bahkan di dunia penanganan sampah pada umumnya menggunakan sistem sanitary landfill dimana sampah akan ditempatkan pada suatu lahan dan selanjutnya akan ditimbun dengan tanah. Sampah-sampah yang

ditimbun tersebut akan mengalami proses dekomposisi/pembusukan oleh mikroorganisme dan menghasilkan suatu cairan yang disebut lindi. Lindi selain bersumber dari air yang terjadi dalam proses dekomposisi sampah juga berasal dari cairan yang masuk ke *lanfill* baik dari air permukaan, air hujan air tanah ataupun sumber-sumber lainnya. Lindi biasanya mengandung bahan-bahan organik terlarut serta ion-ion anorganik dalam konsentrasi yang tinggi (Damanhuri, 1993).

Karena tingginya beban organik yang terkandung dalam lindi, akan menyebabkan turunnya kadar oksigen dalam air dan terjadinya bau yang tidak enak. Bila lindi ini dibiarkan maka akan masuk dan mencemari badan air dan pada akhirnya menyebabkan gangguan kesehatan bila air tersebut dikonsumsi, dengan pertimbangan tersebut maka perlu dilakukan penanganan terhadap lindi untuk mengurangi beban pencemaran.

Nitrat merupakan salah satu senyawa yang terdapat pada lindi. Nitrat merupakan jenis nitrogen anorganik utama dalam air. Nitrat dapat berasal dari hancuran bahan organik, buangan domestik, limbah industri, limbah peternakan dan pupuk. Adanya Nitrat yang berlebihan dalam air dapat mempercepat tumbuhnya plankton dan ganggang yang tak terbatas mengakibatkan air kekurangan oksigen sehingga terjadi penurunan populasi organisme yang hidup didalam air, selain itu juga dapat menyebabkan bau busuk dan rasa tidak enak.

b. *Rubbish*, yakni pengolahan yang tidak mudah membusuk. Pertama yang mudah terbakar, seperti halnya kertas, kayu dan sobekan kain, kedua yang tidak mudah terbakar misalnya kaleng, kaca dan lain-lain.

c. *Ashes*, yakni semua jenis abu dari hasil pembakaran baik dari rumah maupun industri.

d. *Street sweeping*, yakni sampah dari hasil pembersihan jalanan, seperti halnya kertas, kotoran, daun-daunan dan lain-lain

e. *Dead animal*, yakni bangkai binatang yang mati karena alam, kecelakaan maupun penyakit.

f. *Abandoned vehicle*, contoh dari jenis adalah bangkai kendaraan seperti sepeda, motor, becak, dan lain-lain.

g. Sampah khusus, yaitu sampah yang memerlukan penanganan khusus misalnya kaleng-kaleng cat, zat radioaktif, obat-obatan dan lain-lain.

2.1.3. Komposisi Sampah

Menurut Tchobanoglous, theisen, vigil (1993), komponen sampah-sampah terdiri dari:

1) Organik

a. Sisa makanan.
b. Kertas.
c. Karbon.
f. Kain.
g. Kulit.
h. Kebun atau halaman

d. Plastik.
e. Karet.
i. Kayu

2) Anorganik

a. kaca.
b. Aluminium.
c. Kaleng.
d. Logam lain.
e. Abu, debu.

2. 2. Lindi

2.2.1. 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 perembesan air hujan langsung dan cairan apapun yang keluar dari hasil konsolidasi material-material sampah *landfill*. Defenisi 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 organis oleh pengurai sebagai salah satu hasilnya yaitu lindi. Lindi ini akan terjadi apabila ada air eksternal yang berinfiltrasi kedalam timbulan 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 dan proses dekomposisi yang berbentuk cairan dan mempunyai 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 (H_2S) yang ditimbulkan dari proses dekomposi bahan-bahan organik yang terkandung dalam lindi.

2.2.2. 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 antara lain;

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 anorganik 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.

2.2.3. Karakteristik lindi

Karakteristik lindi sangat bervariasi tergantung dari proses dalam *landfill* yang meliputi proses fisik, kimiawi dan biologis. Mikroorganisme di dalam 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).

Aktivitas didalam *landfill* pada umumnya mengikuti suatu pola tertentu, pada mulanya sampah terdekomposisi secara aerobik, tetapi setelah oksigen di dalamnya habis maka mikroorganisme utama yang bekerja adalah mikroorganisme fakultatif dan pada tahap akhir yaitu anaerob yang menghasilkan gas metan (CH_4) yang tidak berwarna dan berbau.

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)

1. $n\,(C_6H_{10}O_5) + n\,H_2O \xrightarrow{\text{mikroorganisme}} n\,C_6H_{12}O_6$

   sellulosa — glukosa

2. $n\,(C_6H_{12}O_6) + 6\,n\,O_2 \xrightarrow{\text{mikroorganisme}} 6\,n\,(C\,O_2) + 6\,n\,H_2O + n(688$ kal)

Dekomposisi sampah akibat aktivitas mikroba adalah sebagai berikut :

Tahap I : Degradasi dilakukan oleh mikroorganisme aerobik menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O).

Tahap II : 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.

Tahap III : Pada tahap ini organisme anorganik berkembang biak dan menguraikan asam organik menjadi gas metan serta lainnya. Pada fase aerobik pengaruh terhadap kualitas lindi yang ditemukan hanya sedikit.

Pada fase anaerobik, lindi yang dihasilkan mempunyai kandungan organik yang tinggi, pH rendah, berbau dan perbandingan BOD dan COD yang tinggi.

Pada fase *methagonesis*, sebagian besar karbon organik dirubah menjadi gas, maka pada tahap tersebut konsentrasi BOD dan COD menjadi rendah, pada fase ini pH meningkat sekitar 6,8-7,2.

Lindi mengandung berbagai jenis senyawa-senyawa baik yang organik maupun anorganik. Kandungan senyawa-senyawa yang terdapat di dalam lindi dipengaruhi oleh aktifitas mikroba (penguraian), kondisi lingkungan dan faktor-faktor lainnya yang terjadi pada *landfill*. Adapun komposisi *landfill* secara umum dapat dilihat pada tabel 2.1. dan 2.2.

Tabel 2.1. Tipikal Data Komposisi lindi Baru dan lama

Unsur pokok	**Konsentrasi mg/l**		
	***Landfill* baru (< 2 tahun)**		***Landfill* lama**
	Range	***Tipikal***	**(> 10 tahun)**
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 phospor	5 - 100	30	5 - 10
Ortho phospor	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 hardness ($CaCO_3$)	300 - 10.000	3.500	200 - 500
kalsium	200 - 3.000	1.000	100 - 400
Mugnesium	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)

Tabel 2.2. Komposisi lindi *lanfill*

Parameter	***Age of Landfill***		
	1 tahun	**5 tahun**	**16 tahun**
BOD	7.500-28.000	4000	80
COD	10.000-40.000	8.000	400
Ph	5,2-6,4	6,3	-
TDS	10.000-14.000	6.794	1.200
TSS	100-700	-	-
Specific	6.00-9.000	-	-
Conduktance	8.00-4.000	5.810	2.250
Alkaliniti ($CaCO_3$)	3.500-5.000	2.200	540
Hardness ($CaCO_3$)	25-35	12	8
Total P	23-33	-	-
Ortho P	56-482	-	-
NH_4-N	0,2-0,8	0,5	1,6
Nitrat	900-1.700	308	109
Kalsium	600-800	1.330	70
Klorida	450-500	810	34
Sodium	295-310	610	39
Potassium	400-650	2	2
Sulfat	75-125	0,06	0,06

Mangan	160-250	450	90
Magnesium	210-325	6,3	0,6
Logam	10-30	0,4	0,1
Zinc	-	<0,5	<0,5
Copper	-	<0,05	<0,05
Cadmium	-	0,5	1.0
Lead			

Sumber : After Chan and DeWalle (1976. 1977a)

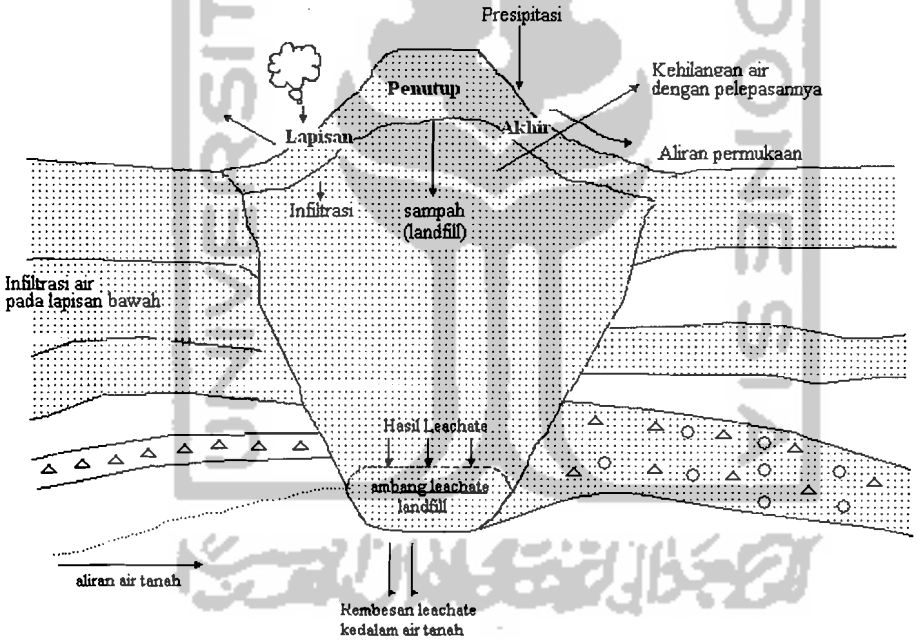
2.2.4. Pengaruh lindi

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 kedalam 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 kandungan 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 bersih yang berasal dari air tanah yang terpolusi tersebut dalam jangka waktu yang lama tidak sesuai lagi untuk sumber baku air bersih. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.1. sebagai berikut :



Gambar 2.1 Perembesan lindi ke dalam air tanah

Sumber: Chatib, 1986.

2.3. Mikroorganisme Air

2.3.1. Kelompok Mikroorganisme Air

Secara umum ada beberapa kelompok mikroba yang didapatkan hidup di air yaitu: kelompok bacteria, fungi, mikroalge, virus dan protozoa. Kelompok-kelompok mikroba ini kehadirannya didalam air ada yang bersifat menguntungkan dan ada pula yang merugikan.

Kelompok mikroba yang umum dapat ditemukan pada air antara lain:

a. Bakteria

umumnya *uniseluler*/sel tunggal, tidak mempunyai klorofil, berkembang-biak dengan pembelahan sel secara *transversal* atau *biner*. Hidup bebas secara kosmopolitan di mana-mana, khususnya di udara, tanah, air, pada bahan makanan, pada tubuh manusia, hewan atau tanaman.

Beberapa jenis bakteria yang bemanfaat dan merugikan antara lain (tabel 2.3).

Tabel 2.3. Contoh jenis bakteria

Kelompok/jenis bakteri	Keterangan
Menguntungkan:	
- Nitrosomonas europaea	- Proses nitrifikasi
- Nitrobacter winogradsky	- Penambah N2 –udara
- Methanomonas methanica	- Proses pembentukan biogas
- Thiobacillus denitrificans	- proses denitrifikasi

- Cellvibrio speciosa	- Pengurai sellulosa
- Rhizobium japonicum	- Penambat N2 –udara
- Lactobacillus plantarum	- Proses pembuatan asam laktat
- Propionibacterium rubrum	- Proses pembuatan asam propionat
Merugikan:	
- Vibrio cholerae	- Penyebab penyakit kolera
- Vibrio parahaemolyticus	- Pembusuk, penghasil racun
- Escherichia coli	- Pencemar
- Aerobacter aerogenes	- Pencemar
- Salmonella typhi	- Penyebab penyakit tifus
- Streptococcus aureus	- Pembusuk
- Clostridium botulinum	- Penghasil racun

Sumber: Unus Suriawiria, "mikrobiologi air dan dasar-dasar pengolahan secara biologis (hal 9-10)

b. Alge (biru, hijau, kersik)

c. Fungi atau jamur

d. Rotozoa

e. Virus

2.3.2. Metabolisme Mikroba

Untuk keperluan hidupnya mikroba memerlukan bahan makanan yang diambil dari bahan-bahan organik dan anorganik yang diambil dari lingkungannya, bahan-bahan tersebut dinamakan nutrien. Nutrien yang diserap akan digunakan sel untuk proses metabolisme, yaitu:

a. Katabolisme atau dissimilasi atau bioenerji, dan

b. Anabolisme atau assimilasi atau biosintesa

Pada proses bioenerji nutrien berfungsi sebagai sumber energi atau penerima elektron. Sumber energi pada bakteria misalnya, merupakan bahan-bahan organik sederhana yang diuraikan menjadi bahan-bahan yang lebih sederhana lagi. Energi yang dihasilkan berupa energi kimia yang diperlukan untuk aktifitas sel, misalnya: perkembangbiakan, pembentukan spora, pergerakan, biosintesa, dan sebagainya. Contoh nutrien yang berfungsi sebagai penerima elektron, antara lain: oksigen, KNO_3, dan sebagainya. Pada biosintesa nutrien berfungsi sebagai bahan baku, tanpa adanya nutrien maka proses biosintesa tidak akan berjalan.

Mikroba membutuhkan bahan makanan sebagai sumber energi, bahan pembangun sel dan aseptor-elektron di dalam reaksi bioenergetik (reaksi yang menghasilkan energi), bahan makanan yang dibutuhkan tersebut terdiri dari:

a. Air

Merupakan komponen utama di dalam sel dan media, baik sebagai sumber oksigen untuk bahan organik sel dan respirasi, ataupun sebagai pelarut dan sebagai alat pengangkut di dalam metabolisme.

b. Sumber energi

Senyawa organik dan anorganik yang dapat dioksidasi serta cahaya matahari, merupakan sumber energi untuk mikroorganisme.

c. Sumber karbon

Umumnya berbentuk hidrat arang, asam organik, garam organik dan polialkohol.

d. Sumber aseptor elektron

Oksidasi biologi merupakan proses pengambilan dan pemindahan elektron dari substrat. Karena elektron sel tidak dapat berada di dalam bentuk bebas, maka harus ada sumber yang dapat dengan segera menangkap elektron tersebut. Proses penangkapan elektron disebut aseptor elektron, yaitu: O_2, senyawa organik, NO_3^-, NO_2, N_2O, SO_4^{2-}, CO_2, dan Fe^{3+}.

e. Sumber mineral

Merupakan bagian sel dengan konstituen utama ialah nitrogen, fosfor, karbon, oksigen dan hydrogen. Unsur-unsur lainnya yang diperlukan ialah K, Ca, Mg, Na, S, Cl, sedangkan Fe, Mn, Co, Ca, Bo, Zn, Mo, dan Al diperlukan didalam jumlah yang sangat kecil.unsur mineral selain sebagai komponen sel, juga berfungsi sebagai pengatur tekanan osmosa, kadar ion hidrogen, permeabilitas dan tekanan oksidasi-reduksi medium.

f. Faktor pertumbuhan

Semua proses biologis seperti nutrisi, bioenergi dan biosintesa, memerlukan biokatalisator yang disebut enzim. Reaksi yang terjadi didalam sel hanya mungkin berlangsung dengan pertolongan katalisator organik (biokatalisator) atau enzim, dimana enzim dihasilkan oleh sel berbentuk senyawa protein. Enzim sendiri tidak mengalami perubahan baik sebelum atau sesudah terjadinya reaksi, enzim hanya mengalami ikatan sementara dengan substrat kemudian akan terpecah kembali.

Reaksi enzimatik secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut:

$$E + S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons E + P$$

Dimana :

E = enzim, ES = ikatan sementara antara substrat dan enzim

S = substrat, P = hasil reaksi akhir

2.3.3. Glukosa Sebagai Sumber Energi

Bakteri heterotrofik dapat menggunakan berbagai senyawa organiksebagai sumber energi. Senyawa-senyawa ini mencakup karbohidrat, asam organik, asam lemak serta asam-asam amino. Bagi banyak mikroorganisme senyawa yang lebih disukai ialah karbohidrat, terutama glukosa, yaitu gula yang berkarbon enam.

Perombakan glokosa dapat terjadi melalui proses *glikolisis*. *Glikolisis* adalah salah satu lintasan paling penting yang digunakan oleh sel untuk menghasilkan energi. *Glikolisis* tidak mensyaratkan adanya oksigen dan bisa terdapat pada sel-sel baik yang aerobik maupun anaerobik.

Pada glikolisis, fruktose -1,6-difosfat yang terbentuk dari glukosa terpecah menjadi dua unit berkarbon-tiga dihidroksiaseton fosfat dan gliseraldehide-3-fosfat), keduanya kemudian dioksidasi menjadi asam piruvat. Pada langkah dioksidasinya gliseraldehide-3-fosfat, terusir sepasang elektron (dua atom hidrogen). Bila tidak ada oksigen, pasangan elektron ini dapat dapat digunakan untuk mereduksi asam piruvat menjadi asam laktat atau etanol.

Untuk setiap molekul glukosa yang mengalami metabolisme, dua molekul ATP dikonsumsi dan empat molekul ATP dibentuk. Karena itu untuk setiap molekul glukosa yang diuraikan melelui *glikolisis*, diperoleh hasil bersih dua molekul ATP (Michael J. Palezar,Jr, E.C.S. Chan , Dasar-dasar mikrobiologi Air-1, hal. 349).

Pada mikroorganisme yang menjalankan fermentasi, elektron yang terbentuk tidak diubah menjadi energi, tetapi diikat oleh asam piruvat sehingga terbentuk asam laktat. Dengan demikian ATP yang dihasilkan pada proses fermentasi hanya dua molekul. Asam piruvat hasil pemecahan glukosa menurut sistem HDP merupakan senyawa yang penting, karena senyawa tersebut dapat diubah menjadi senyawa-senyawa lain. Bentuk senyawa-senyawa yang dihasilkan misalnya asam laktat, etanol, asam fomiat, asam butirat, asam propionat, dan asam butandiol (Unus Suriawiria,2003 "Mikrobiologi air dan dasar-dasar pengolahan buangan secara biologis", hal. 175)).

2.3.4. Mikroba Starter

Sejak lama masyarakat mengenal dan menggunakan starter, baik di dalam pembuatan minuman atapun bahan makanan, seperti: ragi pada pembuatan tempe, oncom, kecap, tauco, brem, tape, tuak, dan banyak lainnya. Starter adalah biakan mikroba tertentu yang ditumbuhkan di dalam substrat, untuk tujuan tertentu.

Penggunaan starter untuk proses pembuatan biogas (anaerobik) tidak dapat diabaikan, apalagi bahan baku yang digunakan adalah buangan seperti sampah. Hal ini mengingat bentuk dan sifat sampah yang aneka ragam bentuk, susunan dan sifatnya, serta kemungkinan kandungan bakteri metan didalamnya sangat terbatas.

Starter berdasarkan jenisnyanya dikenal beberapa tipe yang didalamnya mengandung bakteri metan, yaitu:

a. Starter alami: kalau sumber berasal dari alam yang diketahui mengandung kelompok bakteri metan, misal lumpur aktif, timbunan sampah lama, timbunan kotoran hewan, dan sebagainya.
b. Starter semi buatan: kalau sumber berasal dari bejana pembuat biogas, dimana diharapkan bahwa kandungan kelompok bakteri metan di dalamnya berada di dalam stadia aktif dan efektif.
c. Starter buatan: kalau sumber bakteri metan sengaja dibuat, baik dengan media alami (sampah, lumpur, kotoran kandang, dan sebagainya) ataupun media buatan (sumber nutrisi dalam bentuk padat ataupun cair), sedangkan kelompok bakteri metan sebelumnya dibiakkan secara laboratoria.

Jenis starter mana yang akan dipergunakan tergantung kepada banyak faktor, antara lain:

a. Letak pemakai
b. Fasilitas pembuatan/penyedia starter
c. Biaya yang harus dikeluarkan
d. Bentuk dan sifat bahan baku
e. Lingkungan dimana proses fermentasi-metan akan dilakukan.

(Unus Suriawiria,2003 "Mikrobiologi air dan dasar-dasar pengolahan buangan secara biologis", hal. 272-273)).

2.4. Pengolahan Limbah Secara Biologis

Pengolahan limbah cair secara biologis memegang peranan yang sangat penting dalam penangan limbah yang akan merombak bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah, mikrobia mempunyai penanganan yang tinggi dalam mendegradasi bahan organik, sehingga peranannya dalam limbah cair cukup besar (Sugiharto, 1987).

Prinsip pengolahan air buangan secara biologis dipusatkan pada mikroorganisme yang menggunakan material limbah organik sebagai bahan makanannya untuk mendukung perkembangbiakan bakteri, pembentukan energi-energi esensial. Pertumbuhan bakteri sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang ada di lingkungan perairan seperti; jumlah oksigen terlarut, pH, suhu, adanya bahan-bahan beracun, jumlah dan material limbah, dan cahaya matahari.

Pengolahan limbah cair secara biologis merupakan pengolahan dengan memanfaatkan kegiatan mikroba untuk melakukan *degradasi* ataupun *transformasi* bahan organik. Pengolahan air buangan secara biologi terjadi dalam tiga keadaan yaitu; aerobik, anaerobik dan fakultatif.

2.4.1. Proses Pengolahan Secara Aerobik

Proses biologis secara aerobik berarti proses dimana terdapat oksigen terlarut. Oksidasi bahan organik menggunakan molekul oksigen sebagai aseptor elektron akhir adalah proses utamayang menghasilkan energi kimia untuk

mikroorganisme dalam proses ini. Mikroba yang menggunakan oksigen sebagai akseptor elektron akhir adalah mikroorganisme aerobik. Beberapa pengolahan limbah cair secara aerobik adalah lumpur aktif, *trickling filter*, kolam oksidasi, *lagoon aerasi* dan parit oksidasi (Jenie, B.S.L, 1995).

Senyawa–senyawa organik yang terdapat dalam limbah cair dapat dipecah oleh mikroorganisme aerobik menjadi senyawa-senyawa yang tidak mencemari, dimana pemecahan ini berlangsung dalam suasana aerobik atau ada oksigen. Reaksi yang terjadi pada proses aerob sebagai berikut:

$$\text{Zat organik} + \text{Mikroba} + O_2 \longrightarrow \text{Sisa mikroba} + CO_2 + H_2O + \text{energi}$$

Pada teperatur 37 °C proses berjalan baik dan kenaikan 10°C kecepatan bereaksi akan berlipat, pH antara 6,5-8,5 (Mahida, 1993).

2.4.2. Proses Pengolahan Secara Anaerobik

Pengolahan air buangan secara anaerobik yaitu proses penguraian air buangan dilakukan oleh mikroorganisme anaerobik, dalam kondisi tanpa oksigen. Bahkan mikroba yang bersifat obligat anaerobik tidak dapat hidup bila ada oksigen terlarut. Bakteri tersebut antara lain bakteri *Methana* yang umumnya terdapat pada *digester anaerobik* dan *lagoon anaerobik.* Proses anaerobik memperoleh energi dari oksidasi bahan-bahan organik kompleks tanpa

menggunakan oksigen terlarut, tetapi menggunakan senyawa-senyawa lain sebagai pengoksidasi, yaitu; karbon dioksida, senyawa-senyawa organik yang teroksidasi sebagian, sulfat dan nitrat (Jenie B.S.L., 1995).

Pengubahan asam organik menjadi gas methan menghasilkan sedikit energi, sehingga laju pertumbuhannya lambat. Laju pengurangan buangan organik pada proses anaerobik dan lumpur yang dihasilkan menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan proses pengolahan secara aerobik. Pada proses anaerobik sintesa sel lebih kecil sehingga nutrien yang dibutuhkan lebih sedikit bila dibandingkan dengan proses aerobik. Pada proses anaerobik ini keseluruhan dari prosesnya terdiri dari bakteri, sehingga stabilitas prosesnya mudah terganggu, karena itu perlu pengawasan yang ketat. Penguraian senyawa organik atau asam organik menjadi gas methan dan CO_2 adalah sebagai berikut :

$$C_nH_aN_b + (n\text{-}a/4\text{-}b/2)\ H_2O \longrightarrow (n/2\text{-}9/8 + b/4)\ CO_2 + (n\ /\ 2\text{-}a\ /\ 8\text{-}b\ /\ 4)CH_4$$

Menurut Betty (1995), faktor-faktor yang harus diperhatikan pada proses anaerobik ini antara lain adalah tingkat keasaman, suhu, waktu retensi, *toksisitas*, dan bahan-bahan nutrisi yang diperlukan untuk proses.

a. Keasaman

Keasaman (pH) berpengaruh jika terjadi perubahan besar, oleh sebab itu perubahan pH yang terjadi perlu dimonitor. Hal ini disebabkan disebabkan

karena 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 dapat dimengerti, bila konsentrasi asam organik dalam sistem akan meningkat dan mempengaruhi besarnya pH. Pengaturan pH biasanya dilakukan dengan penambahan basa atau kapur, hingga pH mencapai 6,5-7,5. Menurut Benefield dan Randall (1980) pH yang baik untuk proses anaerobik berisar antara 6,0-8,5 dengan pH optimum 6,5-7,5.

b. Suhu

Penurunan suhu akan mengakibatkan gagalnya proses fermentasi, bakteri-bakteri anaerobik yang bersifat *mesofilik* biasanya dapat tumbuh pada suhu 20-45°C. Suhu yang optimum untuk proses fermentasi metana adalah sekitar 37-40°C. Sedangkan bakteri yang bersifat *termofilik* yaitu yang hidup pada kisaran suhu 50–65°C suhu optimumnya adalah 55°C. Hasil penelitian Hils dkk. (1969), menunjukan bahwa pada suhu diatas 40°C menyebabkan produksi metana akan menurun dengan tajam.

c. Waktu Retensi

Waktu regenerasi bakteri metana umumnya mencapai 12 jam, sedangkan untuk bakteri yang bersifat fakultatif, waktu regenerasi hanya 0,3 jam atau kurang. Waktu retensi minimum untuk proses anaerobik ini umumnya berkisar antara 2-6 hari.

d. Bahan-bahan 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 nitrogen, karbon, dan fosfat layak diperhatikan yaitu biasanya 150:55:1 bagian. Kekurangan nitrogen atau unsur fosfat dapat ditambah dari luar yaitu dengan penambahan amonium fosfat atau amonium klorida.

e. *Toksisitas*

Ion-ion logam berat seperti Hg, Ag, Cu, Au, Zn, Li dan Pb (Unus Suriawiria), walaupun pada kadar yang sangat rendah akan bersifat toksis terhadap mikroorganisme, karena ion-ion logam berat dapat bereaksi dengan gugusan senyawa sel. Menurut Betty, Rahayu, ion logam seperti: Na, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} pada konsentrasi lebih dari 1000 mg/L akan menyebabkab keracunan bagi mikroba dimana hal ini sangat tidak diinginkan dalam proses fermentasi, sedangkan bila konsentrasi ion logam tersebut hanya sekitar 50-200 mg/L akan memberikan pengaruh yang menguntungkan karena memberikan pengaruh stimulasi.

Daya bunuh logam berat pada kadar rendah disebut daya *oligodinamik.* Misalnya Hg2+ yang bergabung dengan gugusan sulfidril (-SH) pada enzim akan menghambat kegiatan enzim tersebut. Beberapa kation seperti Li^+ dan

Zn^{2+} bersifat racun terhadap bakteri, sehingga akibatnya kegiatan enzim terhenti, karena kation semacam ini bersifat antagonis terhadap H^{+}. Apabila nilai pH dinaikkan maka peracunan Li^{+} dan Zn^{2+} dapat dikurangi, sehingga antagonisma ini dapat berbalik.

Kation seperti sulfat, tetrat, klorida, nitrat dan benzoat, mempengaruhi kegiatan fisiologi mikroorganisma. Karena adanya adanya perbedaan sifat fisiologi yang besar pada masing-masing mikroorganisma, maka sifat meracun dari anion tadi juga berbeda-beda. Sifat meracun alkali juga berbeda-beda, tergantung pada jenis ligamnya.

Sifat meracun ini bukan disebabkan oleh karena nilai Ph, tetapi merupakan akibat langsung dari molekul asam organik tersebut terhadap gugusan di dalam sel.

Proses anaerobik memiliki beberapa kelebihan, akan tetapi juga memiliki kekurangan, berikut ini penjelasan mengenai kelebihan dan kekurangan yang dimiliki proses anaerobik:

a. Keuntungan pengolahan secara anaerobik

Proses anaerobik digestion adalah proses pengolahan buangan yang menawarkan keuntungan lebih dibandingkan sistem konvensional aerobik. Keuntungan tersebut adalah:

1. Tingkat stabilisasi *effluent* lebih tinggi
2. Hanya dalam jumlah kecil bahan-bahan organik diubah kedalam *biomassa*, jadi akan menguragi masalah dalam pengumpulan lumpur.
3. Tidak membutuhkan energi dan peralatan untuk *transfer* oksigen kedalam buangan, dan hasil akhir produksi berupa gas metan.
4. Metan merupakan sumber energi yang berharga, selain untuk operasi proses *anaerobic digestion* juga untuk operasi lainnya seperti penghasil listrik dan untuk pemanasan serta pendinginan.
5. Membutuhkan sedikit nutrien.

b. Kerugian pengolahan secara anaerobik

Bagaimanapun terbatasnya proses fermentasi disebabkan oleh proses dan peralatan yang dipakai, banyak bagian penting dari bakteri yang hilang dan juga ketidaktahuan pada kepekaan lingkungan hidup dari bakteri. Kerugian-kerugian tersebut antara lain :

1. Lambatnya rate pertumbuhan dari bakteri penghasil *methan* (methanogen)
2. Lamanya *Solid Retention Time* (SRT), sehingga dibutuhkan volume reaktor yang lebih besar. Dibutuhkan bantuan panas untuk mempertahankan *digester* pada temperatur optimum (35°C) untuk pertumbuhan esensial dari bakteri.

2.4.3. Proses Pengolahan Secara Fakultatif

Proses pengolahan secara fakuyltatif ini yaitu proses pengolahan dimana mikroorganisme yang hidup yaitu mikroorganisme yang dapat hidup pada kondisi aerob maupun anaerob. Jadi mikroorganisme ini dapat mendegradasi bahan-bahan organik dalam keadaan ada oksigen maupun tanpa oksigen.

2.5. Reaktor Pengolahan Secara Biologis

Dalam beberapa dasawarsa ini telah berkembang berbagi metode pengolahan biologi dengan segala modifikasinya, pada dasarnya reaktor pengolahan secara biologi dibedakan atas dua jenis, yaitu; reaktor pertumbuhan tersuspensi *(suspended growth reaktor)*, dan reaktor pertumbuhan melekat *(attached growth reaktor)*. Pada pertumbuhan tersuspensi mikroorganisme berkembang dan hidup secara tersuspensi (tercampur) didalam air itu sendiri, sedangkan pertumbuhan yaitu dimana mikroorganisme hidup dengan melekat pada media yang ditempatkan pada reaktor pengolahan (media yang biasa yang digunakan seperti batu kerikil).

2.5.1. Reaktor Pertumbuhan Tersuspensi *(Suspended Growth Reaktor)*

Menurut *Jenie (1995),* 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 lumput aktif, *lagoon aerated*, parit oksidasi, dan *digester anaerobic* yang tercampur baik.

Didalam reaktor pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi, proses lumpur aktif yang banyak dikenal langsung dalam reaktor jenis ini. Proses lumpur aktif berkembang terus dengan berbagai modifikasi. Proses lumpur aktif dengan berbagai modifikasi ini mampu memurnikan BOD, COD dengan effisiensi 75-95%.

2.5.2. Reaktor Pertumbuhan Melekat *(Attached Growth Reaktor).*

Menurut *Jenie (1995),* pertumbuhan mikroba akan melekat bila mikroba tersebut tumbuh pada media padat sebagai pendukung dari aliran limbah yang kontak dengan mikrorganisme. 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 *anaerobic filter.*

2.6. Klasifikasi *Filter*

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

Tabel 2.4. Klasifikasi *filter* berdasarkan ukuran material filter dan kecepatan filtrasi

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 : Anonim, 2005

Tipe filter ini menggunakan *gravel* sebagai media *filter* yang dan 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 prapengolahan, dan 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 komparteman yang berbeda dan dioperasikan dengan seri atau ditempatkan di kompartemen yang sama. Pembersihan *filter* dilakukan dengan manual dan hidraulik. Sacara manual dilakukan dengan membersihkan bagian atas dari *filter* dengan sekop atau penggaruk sedangkan secara hidraulik dilakukan dengan flushing (pencucian) *solid media filter*. (Anonim, 2005).

2.6.1. Teknologi *Roughing Filter*

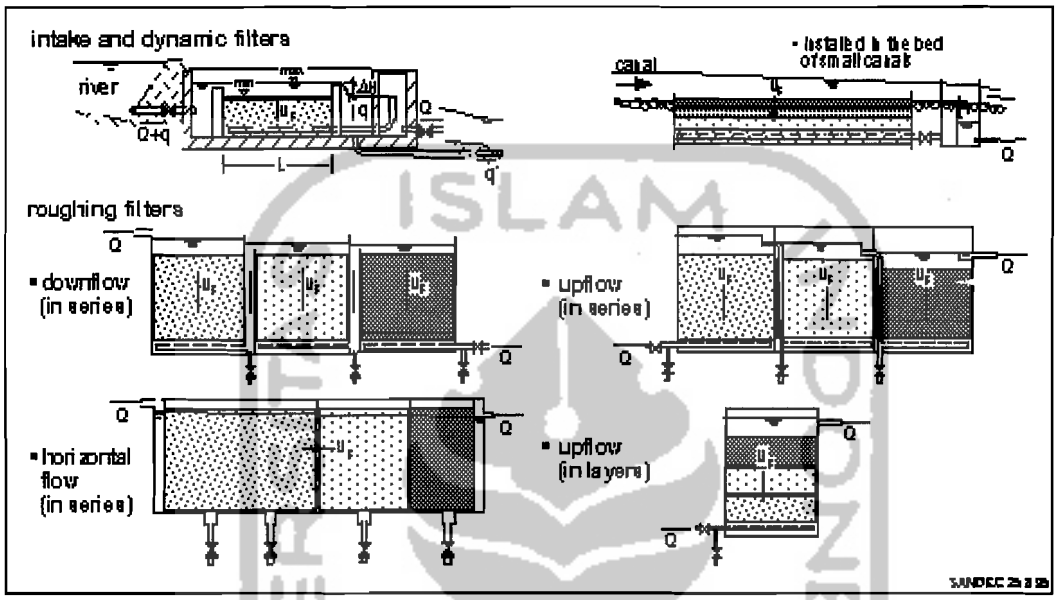
Filter yang menggunakan media dengan diameter lebih dari 2 mm disebut sebagai *roughing filter*. Roughing filter merupakan salah satu jenis filter yang mudah diterapkan di lapangan.

Sebagai suatu *filter*, partikel yang dihilangkan pada *roughing filter* sangat kecil dibandingkan dengan rongga pori pada media. Jadi proses filtrasi yang terjadi bukanlah *straining* (penyaringan). Proses-proses dasar *roughing filter* adalah pengendapan pada pori dan *adhesi* (melekat) 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/dihilangkan 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 *hydrulic loads* yang kecil, dengan kecepatan filtrasi antara 0,3-1,5 m/jam.

Desain dan aplikasi *roughing filter* sangat bervariasi bentuknya, seperti pada gambar 2.2. sebagai berikut:



Gambar 2.2 Tipe roughing filter

2.6.2. Aspek Umum dari Desain *Roughing Filter*

Bagian penting dari *filter* adalah bagian yang terdiri dari material *filter*. Sebuah *filter* terdiri dari 6 elemen yaitu:

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 limbah

   Pendistribusian air limbah 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 *rectangular* dengan dinding vertikal. Tetapi hal ini tergantung dari teknik konstruksinya, sirkular 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 atau 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 sacara 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.* Lagi pula, 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

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* Tr (hari/minggu)

2.6.3. Kriteria Desain *Roughing Filter*

Menurut (Anonim, 2005), kriteria desain untuk *roughing filter* yaitu :

1. Kecepatan filtrasi (Vf), umumnya berkisar antara 0.3-1 m/jam
2. Ukuran rata-rata media *filter* yaitu *range* antara 20-4 mm. Fraksi media *filter* direkomendasikan seragam
3. Panjang Ii (m) dari setiap media *filter* yang spesifik

Setiap panjang Ii 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. Panjang *horizontal flow roughing filter* dalam hal ini tidak dibatasi, tetapi panjang normalnya 5 dan 7 m.

4. Angka n1 dari fraksi *filter*

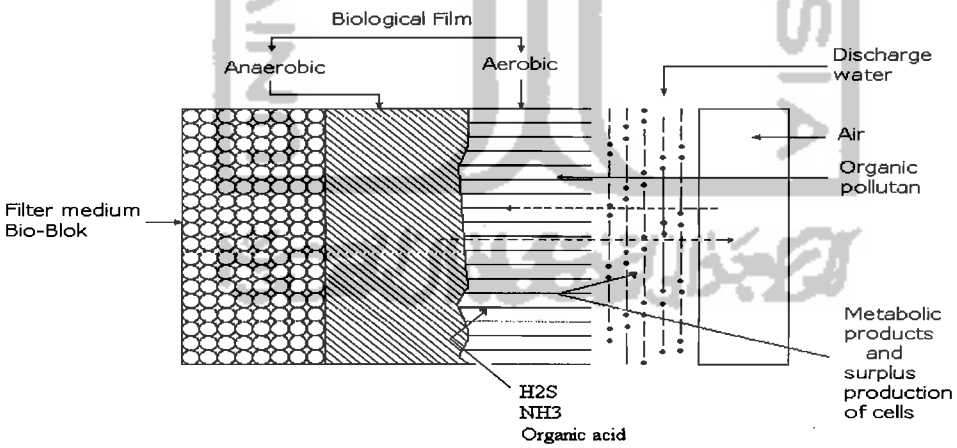
   Angka n1 dari fraksi *filter* bergantung juga pada tipe *filter*. Permukaan *filter* boleh hanya 1 fraksi saja dimana roughing filter biasanya terdiri dari 3 fraksi gravel. Pada gambar 1 ditunjukkan rdeksi kekeruhan pada sebuah roughing filter. Akan tetapi, secara individual panjang filte Ii dari roughing filter sering di desain dengan rasio 3:2:1.

5. Tinggi H (m) dari luas permukaan *filter* (A(m^2))

   Tergantung pada aspek struktural dan operasional. Dirkomendasikan 1-2 m untuk menghindarkan dari masalah ketinggian air. Kedalaman 1 m juga dimungkinkan agar bila menggunakan pembersihan *filter* secara manual dilakukan dengan mudah untuk meremoval material *filter*. Lebar *filter* harus tidak melebihi 4-5 m dan A untuk *vertical flow filter* harus tidak lebih besar dari 25-30 m^2 atau 4-6 m^2 untuk *horizontal flow roughing filter*.

2.6.4. Deskripsi Proses Biologis dalam *Roughing Filter*

Proses yang terjadi pada *roughing filter* serupa dengan *trickling filter*. Kandungan bahan organik didalam air buangan didegradasikan oleh sejumlah mikroorganisme pada media *filter*. Bahan organik *diadsorb* kedalam lapisan *slime*, sedang degradasi secara aerob terjadi pada lapisan luar *slime*. Seiring pertumbuhan mikroorganisme, maka ketebalan *slime*-pun meningkat. Oksigen terdifusi telah habis dikonsumsi sebelum sempat mencapai bagian dalam media, karenanya lingkungan anaerobik terdapat pada bagian sebelah dalam media. Adapun mekanisme transformasi massa malam *biofilm* pada roughing filter dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mekanisme transformasi massa malam *biofilm*.

Semakin menebalnya lapisan *slime* menyebabkan bahan organik teradsorbsi dan mengalami metabolisme sebelum mencapai mikroorganisme pada

permukaan media, sebagai akibatnya mikroorganisme tidak memperoleh sumber organik *eksternal* untuk sel karbon dan mikroorganisme mengalami fase *endogenous* lalu kehilangan kemampuan menempel pada media. Air yang mengalir akan menggerus lapisan *slime* untuk selanjutnya terbentuk lapisan *slime* baru. Keadaan dimana tergerus inilah yang dikenal sebagai *Cloughing.*

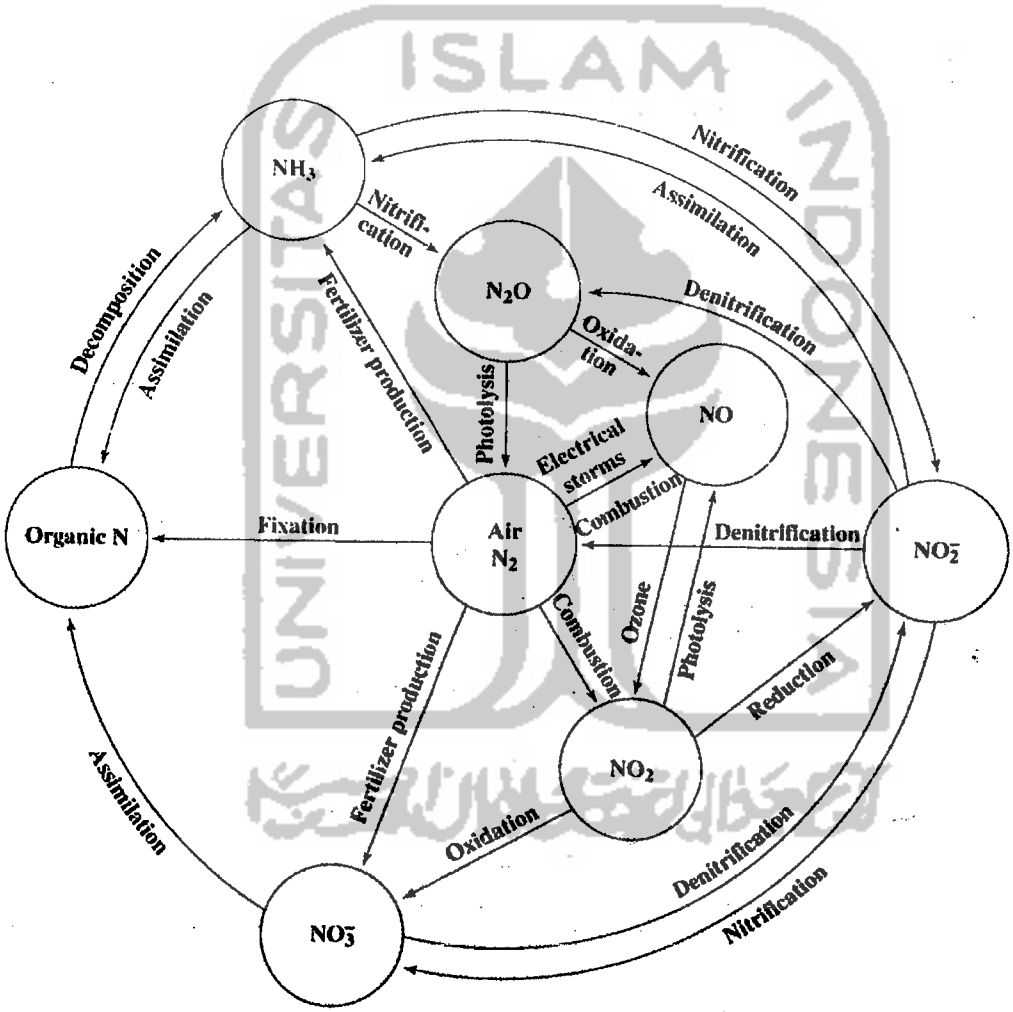
Komunitas biologis yang hidup didalam filter terdiri dari mikroorganisme perintis baik aerobik, anaerobik maupun fakultatif, juga terdapat bakteri, jamur, algae dan protozoa. Miroorganisme tingkat tinggi yang terdapat adalah serangga, larva, siput dan cacing, namun bakteri fakultatif merupakan mikroorganisme paling dominan yang biasa hidup didalam *trickling filter*. Spesies bakteri yang umum ditemukan didalam siklus degradasi aerob dan anaerob didalam *trickling filter* adalah *Flayobacterium, pseodoimonas* dan *Alcaligenes.*

2.7. Nitrat (NO_3) dan Conductivity

2.7.1. Nitrat (NO_3)

Senyawa-senyawa nitrogen terdapat dalam keadaan terlarut atau sebagai bahan-bahan tersuspensi. Senyawa ini sangat penting dalam air dan memegang peranan yang sangat kuat dalam reaksi-reaksi biologi perairan. Jenis-jenis nitrogen anorganik utama dalam air merupakan ion nitrat (NO_3^-), dan amoniak (NH_4^+). Dalam beberapa keadaan ion nitrit (NO_2) juga ditemukan dalam air. Sebagian besar nitrogen total dalam air terikat sebagai nitrogen organik yaitu

dalam bahan-bahan yang berprotein. Sumber-sumber nitrogen dalam air dapat bermacam-macam, meliputi penguraian bahan-bahan organik, buangan domestik, limbah industri, kotoran hewan dan pupuk. Adapun siklus nitrogen di alam dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Siklus nitrogen di alam

Nitrat mewakili produk akhir dari oksidasi zat yang bersifat nitrogen. Jumlah nitrat itu menunjukan lajunya pembenahan menuju oksidasi lengkap dan mantap. Indikator populasi dalam nitrogen anorganik adalah nitrit, nitrat dan amonia. Nitrat dapat terbentuk karena tiga proses yaitu; badai listrik, mikroorganisme pengikat nitrogen, dan bakteri yang memanfaatkan amonia.

Nitrat dapat dibentuk dengan nitrifikasi yang melibatkan ion amonia, yang berubah ke nitrit kemudian ke bentuk nitrat.

Nitrifikasi ($NH_4 \longrightarrow NO \longrightarrow NO_3$) merupakan sebuah reaksi aerobik, terutama adanya organisme *autotropis* dan NO_3 yang merupakan hasil akhir utama. (Bouma, 1979)

Reaksi pembentukan nitrat yang lain (Betty, Rahayu) adalah:

$$NO_2^- + 0{,}5\ O_2 \xrightarrow{\text{bakteri}} NO_3^-$$

Reaksi pembentukan nitrat yang lain (Unus Suriawiria, 2003), dimana nitrosomanas dan nitrobacter mengoksidasi NH_3^+ amonia menjadi NO_2^- adalah:

$$NH_3^+ \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO_3^-$$

Adanya NH_3 dan NO_2 dalam air, adalah petunjuk adanya pencemaran berat pada perairan. Nitrogen merupakan nutrisi kunci perhatian karena dia memberi kontribusi pada *eutrofikasi* air permukaan, dan besarnya nitrogen yang mencapai air tanah dapat berbahaya bagi kesehatan

Menurut *Alarets dan Sri Sumestri , 1987* proses terjadinya nitrat adalah sebagai berikut :

PERPUSTAKAAN
YOGYAKARTA

Amoniak (NH_3) merupakan senyawa nitrogen yang menjadi NH_4 pada pH rendah dan disebut amonium, amoniak sendiri berada dalam keadaan tereduksi. Amoniak dalam air permukaan berasal dari air seni dan tinja, juga oksidasi zat organis (HaOb Cc Nd) secara mikrobiologis, yang berasal dari air alam atau air buangan industri dan penduduk.

Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat dan nitrit dimana nitrat digunakan sebagai terminal hidrogen pada saat potensial oksigen rendah dalam limbah (Jenie, 1993).

Meskipun oksigen pada umumnya merupakan elektron akseptor dalam oksidasi NADH pada sistem transport elektron, beberapa organisme dapat menggunakan elektron akseptor lainnya. Satu dari banyaknya alternatif elektron akseptor adalah nitrat. Dimana Nitrat akan direduksi ke dalam bentuk nitrogen, yaitu N_2O dan N_2, dimana proses ini disebut Denitrifikasi (Brock, 1984).

Menurut Rittmann (2001), denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat (NO_3^-) dan nitrit (NO_2^-) menjadi gas N_2. Dengan kata lain adalah sebagai elektron akseptor yang digunakan sebagai energi. Dalam proses denitrifikasi, nitrat akan direduksi menjadi *Nitrit* (NO_2^-), *nitric oxide* (NO), *nitrous oxide* (N_2O), dan gas N_2.

Reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$NO_3^- + 2_e^- + 2H^+ = NO_2^- + H_2O \quad \text{.....(1)}$$

$$NO_2^- + {}_e^- + 2H^+ = NO + H_2O \quad \text{.....(2)}$$

$2NO + 2e^- + 2H^+ = N_2O + H_2O$.....(3)

$N_2O + 2e^- + 2H^+ = N_{2\,(g)} + H_2O$.....(4)

Dalam Denitrifikasi, bakteri heterotrofik fakultatif yang mampu menggunakan nitrat atau nitrit antara lain *Micrococcus, Pseudomonas, Denitro – bacillus, Spirillum, Vacilles* dan *Achromobacter* (Jenie, 1993).

Bakteri yang berperan dalam proses denitrifikasi ini yaitu *Proteobacteria* seperti *Pseudomonas, Alcaligenes, Paracoccus, dan Thiobacilus* (Rittmann, 2001).

Nitrat sangat beracun, tetapi tidak dapat bertahan lama. Jika kandungan nitrat sudah mencapai 45 ppm, akan berbahaya untuk diminum. Nitrat menyebabkan air menjadi keruh, menurunkan oksigen terlarut, penurunan populasi ikan, bau busuk, rasa tidak enak dan kurang sehat untuk keperluan rekreasi.

Bahaya nitrat bagi kesehatan manusia karena dapat menyebabkan terjadinya *methemoglobinemia* dalam darah, dimana nitrat direduksi menjadi nitrit (NO_2) dalam perut, sehingga terjadinya pengikatan *haemoglobin* oleh nitrit dalam darah sehingga darah tidak dapat mengangkut O_2, disamping itu juga dapat menimbulkan kanker (Alarets dan Sri Sumestri, 1987). Keracunan ini menimbulkan muka biru dan kematian, sehingga disebut penyakit bayi biru. *Public Health Service Amerika* menganjurkan 45 ppm nitrat sebagai ambang batas.

2.7.2. *Conductivity*

Conductivity (daya hantar listrik) merupakan kemampuan suatu penghantar dalam mengantarkan arus listrik. Pengukuran daya hantar listrik dalam zat cair (DHL) berdasarkan kemampuan kation dan anion untuk menghantarkan arus listrik. Daya hantar listrik didefinisikan juga sebagai kebalikan dari tahanan litrik:

$$L = \frac{\mathrm{I}}{R} = \frac{\mathrm{I}}{\rho} = \frac{A}{\mathrm{I}}$$

Dimana:

L = daya hantar

I = panjang (cm)

R = tahanan

ρ = tahanan jenis

A = luas (cm^2)

Rumus untuk daya hantar jenis:

$$Ls = \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{P}}$$

Dimana: Ls = daya hantar jenis

Penentuan daya hantar litrik pada air dapat mengindikasikan secara perkiraan kadar garam yang terdapat didalamnya.

Dalam Satuan Internasional Daya hantar listrik dinyatakan dalam mS/m (millisiemens per meter); 1 mS/m = 10 μmho/cm dan 1μS/cm = 1 μmho/cm.

Conductivity listrik biasanya dan praktis digunakan untuk menentukan besarnya TDS *(total disolved solids)*. Secara umum *conductivity* listrik dapat dikonversi untuk mendapatkan nilai TDS, dimana: TDS (mg/L) = 0,64 x EC *(electrical conductivity)*. (Ir. S. Veenstra, 1995)

Conductivity digunakan sebagai salah satu parameter fisik dalam pengukuran kualitas air, karena kemampuanya yang merupakan indikator hadirnya berbagai jenis garam-garam dalam air.