

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Pengertian Limbah Cair

Polusi air adalah penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal, bukan dari kemurniaannya. Air yang tersebar di alam tidak pernah terdapat dalam bentuk murni, tetapi bukan berarti semua air sudah terpolusi. Sedangkan pengertian limbah cair merupakan kejadian masuknya atau dimasukkannya benda padat, cair, gas ke dalam air dengan sifatnya berupa endapan atau padat, tersuspensi, terlarut, koloid, emulsi yang menyebabkan air dimaksud harus dipisahkan atau dibuang.

Setiap komunitas menghasilkan limbah, baik limbah cair maupun limbah padat. Porsi cairan- air limbah, sebelumnya merupakan air esensial yang kemudian melewati berbagai penggunaan. Air limbah dapat dipastikan mengandung komponen-komponen yang tidak diinginkan sebelum melalui proses pengolahan. Pembuangan air limbah ke lingkungan akan memunculkan beberapa masalah, diantaranya masalah kekurangan oksigen, merangsang pertumbuhan mikroorganisme tertentu seperti alga. Komponen-komponen tersebut terdiri dari bahan organik maupun anorganik, baik bahan terlarut maupun tidak terlarut. Dengan demikian karakteristik air limbah merupakan pertimbangan yang penting sebelum memulai proses evaluasi kinerja suatu sistem pengolahan air limbah.

Air limbah diklasifikasikan menjadi 2 yaitu : air limbah industri dan air limbah perkotaan. Kedua jenis limbah ini secara bersama-sama sering dibuang di saluran-saluran yang sama maupun ke badan-badan air seperti sungai. Hal tersebut sering dilakukan dan masih umum dilakukan karena bentangan biaya yang

tergambar jika harus dilakukan pra perlakuan sebelum pembuangan ke badan air umum.

Jenis pencemar fisik, kimia, biologi hampir terjadi selalu bercampur dengan baik dalam kondisi terlarut, tersuspensi, koloid, dan endapan partikel tidak larut, sehingga air tersebut disebutnya sebagai pembawa polutan dengan sebutan sebagai air buangan patogenik, yaitu media penyebab penyakit atau lazim dikenal dengan water borne disease. Air buangan terbagi menurut jenis dan macam buangannya, yaitu :

1. jenis buangan domestik
2. pabrik

sedang macam buangannya adalah bersifat fisis, kimia, biologi dan radioaktif. Tingkat potensial pencemar di atas ditentukan oleh pencemar persatuan volume atau persatuan berat.

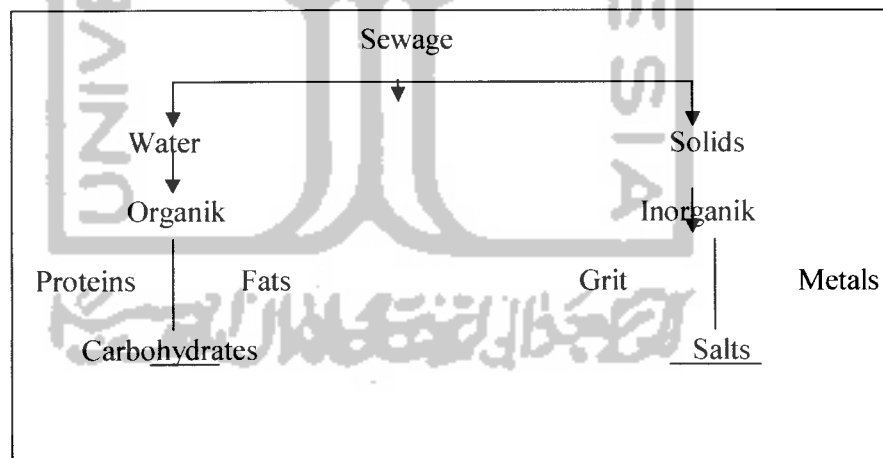
Adapun sumber limbah cair berasal dari :

1. Limbah cair rumah tangga dari perumahan, daerah perdagangan, perkantoran, kelembagaan (rumah sakit, penginapan, sekolah, asrama.) dan fasilitas rekreasi.
2. Limbah cair industri, dimana jenis dan kuantitasnya tergantung pada jenis dan besar kecilnya industri.
3. Limbah cair rembesan dan tambahan, limbah cair ini terjadi pada musim hujan, apabila tempat penampungan air hujan serta salurannya tidak mampu menampung air hujan dan akhirnya mengalir ke saluran limbah cair.

3.2 Limbah Cair Domestik

Air buangan domestik merupakan campuran yang rumit antara bahan organik dan anorganik dalam bentuk, seperti partikel-partikel benda padat besar dan kecil atau sisa-sisa bahan larutan dalam bentuk koloid (Mahida, 1986). Air buangan ini juga mengandung unsur-unsur hara, sehingga dengan demikian merupakan wadah yang baik sekali untuk pembiakan mikroorganisme.

Untuk mengetahui air buangan domestik secara luas diperlukan pengetahuan yang mendetail tentang komposisi atau kandungan yang ada didalamnya. Setelah diadakan analisis ternyata diketahui bahwa sekitar 75 % dari benda-benda terapung dan 40 % benda-benda padat yang dapat disaring adalah berupa bahan organik. Komposisi utama bahan-bahan organik tersebut tersusun oleh 40-60 % protein, 25-50 % karbohidrat dan 10 % sisanya berupa lemak. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1.



Sumber : Tebbutt, 1970

Gambar 3.1 Komposisi air buangan domestik

Sifat-sifat yang dimiliki oleh air buangan domestik adalah sifat fisik, kimia dan biologis.

3.2.1 Sifat Fisik

Sebagian besar air buangan domestik tersusun atas bahan-bahan organik. Pendegradasian bahan-bahan organik pada air buangan akan menyebabkan kekeruhan. Selain itu kekeruhan yang terjadi akibat lumpur, tanah liat, zat koloid dan benda-benda terapung yang tidak segera mengendap. Pendegradasian bahan-bahan organik juga menimbulkan terbentuknya warna. Parameter ini dapat menunjukkan kekuatan pencemaran.

Komponen bahan-bahan organik tersusun atas protein, lemak, minyak dan sabun. Penyusun bahan-bahan organik tersebut cenderung mempunyai sifat berubah-ubah (tidak tetap) dan mudah menjadi busuk. Keadaan ini menyebabkan air buangan domestik menjadi berbau.

Limbah domestik terbagi dalam dua kategori yaitu yang pertama : limbah cair domestik yang berasal dari air cucian seperti sabun, detergen, minyak dan pestisida. Kedua adalah limbah cair yang berasal dari kakus seperti sabun, sampo, tinja, air seni.

Limbah cair domestik menghasilkan senyawa organik berupa protein, karbohidrat, lemak dan asam nukleat. Jika limbah cair domestik ini dibuang ke sungai pada musim kemarau yang debit airnya turun, maka masukan bahan organik kedalam badan air akan mengakibatkan penurunan kualitas air. Pertama, badan air memerlukan oksigen ekstra guna mengurai ikatan dalam senyawa organik (dekomposisi), akibatnya akan membuat sungai miskin oksigen, membuat

jatah oksigen bagi biota air lainnya berkurang jumlahnya. Pengurangan kadar oksigen dalam air ini sering mengakibatkan peristiwa ikan munggut (ikan mati masal akibat kekurangan oksigen).

Kedua, limbah organik mengandung padatan terlarut yang tinggi, sehingga menimbulkan kekeruhan dan mengurangi penetrasi cahaya matahari bagi biota fotosintetik. Ketiga, puluhan ton padatan terlarut yang dibuang akan mengendap dan merubah karakteristik dasar sungai, akibatnya beberapa biota yang menetap di dasar sungai akan tereliminasi atau bahkan punah.

Dmpak limbah organik ini umumnya disebabkan oleh dua jenis limbah cair yaitu detergen dan tinja. Detergen sangat berbahaya bagi lingkungan karena dari beberapa kajian menyebutkan bahwa detergen mempunyai kemampuan untuk melarutkan bahan bersifat karsinogen, misalnya 3,4 Benzopyrene, selain gangguan terhadap masalah kesehatan, kandungan detergen dalam air minum akan menimbulkan bau dan rasa tidak enak. Sedangkan tinja merupakan jenis vektor pembawa berbagai macam penyakit bagi manusia.

Detergen umumnya tersusun atas lima jenis bahan penyusun. Pertama, surfaktan yang merupakan senyawa Alkyl Benzene Sulfonat (ABS) yang berfungsi untuk mengangkat kotoran pada pakaian. ABS memiliki sifat tahan terhadap penguraian oleh mikroorganisme (*nonbiodegradable*). Kedua, senyawa fosfat, (bahan pengisi) yang mencegah menempelnya kembali kotoran pada bahan yang sedang dicuci. Senyawa fosfat digunakan oleh semua merk detergen, memberikan andil yang cukup besar terhadap terjadinya proses eutrofikasi yang menyebabkan Booming Algae (meledaknya populasi tanaman air). Ketiga,

Pemutih, pewangi, (bahan pembantu) zat pemutih umumnya terdiri dari zat natrium karbonat..

Menurut hasil riset organisasi konsumen malaysia (CAP) pemutih dapat menimbulkan kanker pada manusia, sedangkan untuk pewangi lebih banyak merugikan konsumen karena bahan ini membuat makin tingginya biaya produksi, sehingga harga jual produk semakin mahal. Padahal zat pewangi tidak ada kaitannya dengan kemampuan mencuci. Keempat, bahan penimbul busa yang sebenarnya tidak diperlukan dalam proses pencucian dan tidak ada kaitannya antara daya bersih dengan busa yang melimpah. Kelima, Fluorescent, berguna untuk membuat pakaian lebih cemerlang.

Bagian yang paling berbahaya dari limbah domestik adalah mikroorganisme patogen yang terkandung dalam tinja, karena dapat menularkan beragam penyakit bila masuk dalam tubuh manusia, dalam 1 gr tinja mengandung 1 milyar partikel virus efektif, yang mampu bertahan hidup selama beberapa minggu pada suhu dibawah 10 derajat Celcius. Terdapat 4 mikroorganisme paatogen yang terkandung dalam tinja yaitu : virus, protozoa, cacing dan bakteri yang umumnya diwakili oleh jenis *Escherichia coli* (*E-coli*). Menurut catatan badan kesehatan dunia (*WHO*) melaporkan bahwa air limbah domestik yang belum diolah memiliki kandungan virus sebesar 100.000 partikel virus infektif setiap liternya, lebih dari 120 jenis virus patogen yang terkandung dalam air seni dan tinja. Sebagian besar virus patogen ini tidak memberikan gejala yang jelas sehingga sulit dilacak penyebabnya. Untuk lebih jelasnya mengenai sifat fisik ini, dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel. 3.1 Karakteristik limbah Cair domestik

No	Sifat-sifat	Penyebab	Pengaruh
1.	Suhu	Kondisi udara sekitar	Mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen atau gas lain. Juga kerapatan air, daya viskositas dan tekanan permukaan.
2.	Kekeruhan	Benda-benda tercampur seperti limbah padat, garam, tanah, bahan organik yang halus, algae, organisme kecil.	Mematikan sinar, jadi mengurangi produksi oksigen yang dihasilkan.
3.	Warna	Sisa bahan organik dari daun dan tanaman.	Umumnya tidak berbahaya, tetapi berpengaruh terhadap kualitas air.
4.	Bau	Bahan volatil, gas terlarut, hasil pembusukan bahan organik.	Mengurangi estetika.
5.	Rasa	Bahan penghasil bau, benda terlarut dan beberapa ion.	
6.	Benda Padat	Benda organik dan anorganik yang terlarut atau tercampur.	Mempengaruhi jumlah organik padat.

(Sumber : Sugiharto, 1987)

3.2.2 Sifat Kimia

Pengaruh kandungan bahan kimia yang ada di dalam air buangan domestik dapat merugikan lingkungan melalui beberapa cara. Bahan-bahan terlarut dapat menghasilkan DO atau oksigen terlarut dan dapat juga menyebabkan timbulnya bau (*Odor*). Protein merupakan penyebab utama terjadinya bau ini, sebabnya ialah struktur protein sangat kompleks dan tidak stabil serta mudah terurai menjadi bahan kimia lain oleh proses dekomposisi (Sugiharto, 1987).

Didalam air buangan domestik dijumpai karbohidrat dalam jumlah yang cukup banyak, baik dalam bentuk gula, kanji dan selulosa. Gula cenderung mudah terurai, sedangkan kanji dan selulosa lebih bersifat stabil dan tahan terhadap pembusukan (Sugiharto, 1987).

Lemak dan minyak merupakan komponen bahan makanan dan pembersih yang banyak terdapat didalam air buangan domestik. Kedua bahan tersebut berbahaya bagi kehidupan biota air dan keberadaanya tidak diinginkan secara estetika selain dari itu lemak merupakan sumber masalah utama dalam pemeliharaan saluran air buangan. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh kedua bahan ini adalah terbentuknya lapisan tipis yang menghalangi ikatan antara udara dan air, sehingga menyebabkan berkurangnya konsentrasi DO. Kedua senyawa tersebut juga menyebabkan meningkatnya kebutuhan oksigen untuk oksidasi sempurna.

Selain lemak bahan pembersih lainnya adalah senyawa fosfor. Senyawa ini juga terdapat pada urin. Di dalam air buangan domestik fosfor berada dalam kombinasi organik, yaitu kombinasi fosfat (PO_4) yang bersifat mudah terurai.

Senyawa lain yang ada dalam air buangan domestik adalah Nitrogen organik dan senyawa Amonium. Oksidasi Nitrogen dan Amonium menghasilkan nitrit dan nitrat.

3.2.3 Sifat Biologis

Keterangan tentang sifat biologis air buangan domestik diperlukan untuk mengukur tingkat pencemaran sebelum dibuang ke badan air penerima.

Mikroorganisme-mikroorganisme yang berperan dalam proses penguraian bahan-bahan organik di dalam air buangan domestik adalah bakteri, jamur, protozoa dan algae.

Bakteri adalah mikroorganisme bersel satu yang menggunakan bahan organik dan anorganik sebagai makanannya. Berdasarkan penggunaan makanannya, bakteri dibedakan menjadi bakteri autotrof dan heterotrof. Bakteri autotrof menggunakan karbondioksida sebagai sumber zat karbon, sedangkan bakteri heterotrof menggunakan bahan organik sebagai sumber zat karbonnya. Bakteri yang memerlukan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik disebut bakteri aerob, sedangkan yang tidak memerlukan oksigen disebut bakteri anaerob.

Selain bakteri, jamur juga termasuk dekomposer pada air buangan domestik. Jamur adalah mikroorganisme nonfotosintesis, bersel banyak, bersifat aerob dan bercabang atau berfilamen yang berfungsi untuk memetabolisme makanan. Bakteri dan jamur dapat memetabolisme bahan organik dari jenis yang sama.

Protozoa adalah kelompok mikroorganisme yang umumnya motil, bersel tunggal dan tidak ber dinding sel. Kebanyakan protozoa merupakan predator yang sering kali memangsa bakteri. Peranan protozoa penting bagi penanganan limbah organik karena protozoa dapat menekan jumlah bakteri yang berlebihan. Selain itu protozoa dapat mengurangi bahan organik yang tidak dapat di metabolisme oleh bakteri ataupun jamur dan membantu menghasilkan effluen yang lebih baik.

3.3 Pengolahan Limbah Cair Domestik Secara Biologis

Proses pengolahan limbah domestik secara biologis adalah proses penghilangan berbagai senyawa yang tidak dikehendaki kehadirannya dengan cara memanfaatkan aktivitas dekomposer yang memetabolisme bahan-bahan organik yang terkandung di dalam air buangan.

Proses penguraian yang terjadi yang dilakukan oleh mikroorganisme itulah yang diharapkan terjadi sehingga penurunan kadar bahan organik yang terkandung dalam air limbah dapat diturunkan. Dalam hal ini peran mikroorganisme sebagai subjek penting dalam menurunkan konsentrasi air buangan sangatlah penting sehingga keberadaannya perlu di jaga dan diperhatikan dengan baik. Seperti halnya makhluk hidup lainnya mikroorganisme memerlukan makanan dan kondisi yang ideal untuk melakukan proses penguraian bahan organik tersebut.

Adapun hal-hal yang sangat diperlukan oleh mikroorganisme dalam penguraian bahan organik yaitu :

- N, S, P, C sebagai makanan
- O_2
- Suhu yang ideal

Air buangan merupakan zat yang terdiri dari berbagai macam zat-zat organik maupun zat kimia. Oleh karena itu untuk mengetahui parameter-parameter apa saja yang terkandung dalam air buangan sangatlah sulit karena memerlukan pengujian yang sangat banyak dan memerlukan biaya yang cukup besar.

Proses pengolahan biologis adalah proses pengolahan yang melibatkan mikroorganisme sebagai alat untuk menurunkan kadar air buangan. Untuk proses pengolahan biologis dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu :

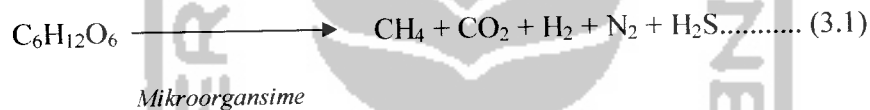
- a. Proses pengolahan biologis secara aerobik.

Proses biologis yang melibatkan oksigen didalamnya.

- b. Proses pengolahan biologis secara anaerobik

Proses biologis yang tanpa melibatkan oksigen didalamnya. Pada dekomposisi anaerobik hasil proses penguraian bahan organik memproduksi biogas yang mengandung metana (CH_4) sekitar (50 – 70 %), CO_2 sekitar (25 – 45 %) dan sejumlah kecil unsur H_2 , N_2 , H_2S (Ye-Shi Cao, 1994).

Reaksinya dapat dijelaskan sebagai berikut :



Secara umum biasanya dekomposisi anaerobik ini dalam penguraian mengalami dua fase yaitu proses yang menghasilkan asam dan metana.

Proses penguraian bahan organik dengan sistem anaerobik berlangsung terus-menerus karena adanya proses pemutusan rantai-rantai polimer kompleks menjadi rantai-rantai sederhana yang dipengaruhi oleh kerja bakteri anaerob dan enzim-enzim, serta tanpa memerlukan oksigen.

Penguraian secara anaerobik sering pula disebut fermentasi metan, karena proses penguraian bahan organik dengan produk akhirnya menghasilkan gas metana.

Proses pengolahan anaerobik dalam pengolahan biologis terjadi dalam tiap tahap pemecahan bahan organik yang menghasilkan gas metana (CH_4) yaitu :

3.3.1 Hidrolisis

Disebut juga dengan proses pencairan. Bahan-bahan organik pertama-tama harus diuraikan terlebih dahulu menjadi molekul yang lebih kecil yang dapat larut dan dapat diasimilasi oleh sel bakteri. Proses ini merupakan proses yang paling lambat dari ketiga proses lainnya, terutama jika berada pada suhu rendah dan pH lebih kecil dari 6. Proses degradasi hidrolisis ini merupakan proses yang paling menentukan dalam menghasilkan substrat-substrat untuk berhasilnya tahap-tahap degradasi berikutnya.

3.3.2 Pembentukan asam

Selain menjadi bentuk molekul yang lebih sederhana, terjadi proses pembentukan senyawa-senyawa asam melalui proses fermentasi dahulu. Proses fermentasi ini berlangsung cepat, menguraikan hasil hidrolisis menjadi senyawa hidrogen (format), bikarbonat piruvat, alkohol dan asam lemak yang lebih sederhana. Proses ini tidak mempengaruhi laju proses keseluruhan dan akibat proses ini tidak seberapa berarti. pH pada proses ini cenderung netral.

3.3.3 Proses pembentukan asam (*fermentasi metana (CH_4)*)

Proses ini sebagai fase pembentukan gas metana baik dari senyawa asetat maupun dari H dan CO_2 . Proses ini menggunakan bakteri methanogen. Bakteri ini

sangat sensitif terhadap pH, bila pH di bawah 6 maka pembentukan metana akan terhenti, selain itu bakteri ini sangat lambat tetapi mempunyai kemampuan untuk mempertahankan diri dalam waktu lama asalkan suhu tetap stabil di bawah 15 ° C.

Untuk proses pengolahan biologis di dalam sewer dapat terjadi dalam dua phase yaitu dalam phase aerobik maupun anaerobik. Untuk phase aerobik biasanya terjadi di air buangan itu sendiri, sedangkan untuk phase anaerobik terjadi di lapisan sedimen yang ada di dalam saluran itu sendiri.

3.3.4 Dasar-dasar pengolahan Biologis

Biodegradabilitas (penguraian/perobakan secara biologis suatu senyawa ditentukan oleh sifat dan susunan bahan, dimana pada umumnya senyawa organik mempunyai reasi yang cepat, sedangkan senyawa anorganik mempunyai sifat reaksi yang lambat. Tetapi didalam kenyataannya, khususnya di lingkungan alami, biodegradabilitas ditentukan pula oleh banyak faktor, baik yang bersifat biotik (bentuk dan sifat jasad) serta abiotik (kadar air, susunan media, temperatur, aerasi) dari bahan.

Degradasi limbah secara biologik merupakan proses yang berlangsung secara alamiah. Sistem biologik yang terkendali dan tak terkendali merupakan sistem utama yang digunakan untuk menangani limbah organik. Sistem ini dapat menangani limbah cair maupun padat, aerobik maupun anaerobik. Contoh proses pengolahan biologik seperti kolam oksidasi, septiktank, digester anaerobik, baffle septik tank, anaerobik filter.

3.3.5 Reaksi Biokimia

Pada proses pengolahan air limbah secara biologik, mikroorganisme menggunakan limbah untuk mensintesis bahan seluler baru dan menyediakan energi untuk sintesis selanjutnya. Disamping itu organisme dapat juga menggunakan suplai 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.

Berikut ini adalah metabolisme anaerob senyawa organik.

Senyawa organik (*COHNS*) :

1. sintesis : protoplasma (sel baru)
2. energi : hasil buangan (asam organik, alkohol, dsb)

Energi :

1. energi : hasil buangan (CH_4 , CO_2)
2. sintesis : protoplasma (sel baru)

Secara umum reaksi yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut :

Limbah biodegradable + Mikroorganisme → produk akhir + lebih banyak M.O

(mengandung energi)

..... (3.2)

Apabila pertumbuhan mikroorganisme terhenti, mikroorganisme mati dan hidrolisis melepaskan nutrisi dari protoplasmanya untuk digunakan oleh sel-sel yang masih hidup dalam suatu proses respirasi endogenes. Reaksinya secara umum adalah sebagai berikut :

Mikroorganisme → produk akhir + lebih sedikit mikroorganisme..... (3.3)

Tersedianya bahan limbah (makanan), maka metabolisme mikroba akan berlangsung dengan memproduksi sel-sel baru dan energi sehingga padatan mikroba akan meningkat. Akan tetapi bila makanan tidak ada, maka 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 sekitar 20 – 25% massa mikroba akan tertinggal. Bahkan dalam sistem penanganan biologik akan terjadi akumulasi padatan dengan laju yang sangat rendah. Padatan ini harus dikeluarkan dari instalasi.

3.3.6 Proses Anaerobik

Proses anaerobik pada dasarnya merupakan proses yang terjadi karena aktivitas mikroba dilakukan pada saat tidak terdapat oksigen bebas. Analoginya proses ini meniru mekanisme proses yang terjadi pada perut binatang yaitu proses pencernaan secara anaerobik. Produk akhir dari proses fermentasi ini adalah gas metana (CH_4).

Mikroorganisme anaerob tertentu tidak dapat hidup bila ada oksigen terlarut (*obligat anaerob*). Contoh mikroorganisme ini adalah bakteri metana yang umum

ditemukan dalam digester anaerobik maupun filter anaerobik. Anaerob memperoleh energinya 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 contohnya adalah karbon dioksida, sulfat, dan nitrat. Proses dimana bahan organik dipecah (diurai) tanpa adanya oksigen sering disebut fermentasi.

Sebagian besar mikroorganisme dapat hidup dengan atau tanpa oksigen, hanya beberapa saja organisme adalah obligat anaerob atau aerob. Organisme yang hidup pada kondisi baik anaerobik maupun aerobik adalah organisme fakultatif. Apabila tidak ada oksigen dalam lingkungannya, mereka mampu memperoleh energi dari degradasi bahan organik dengan mekanisme anaerobik, tetapi bila terdapat oksigen terlarut, mereka akan memecah bahan organik lebih sempurna. Organisme dapat memperoleh energi lebih banyak dengan oksidasi aerobik dari pada oksidasi anaerobik. Sebagian besar mikroorganisme dalam proses pengolahan limbah secara biologik adalah organisme fakultatif.

Proses fermentasi yang berlangsung secara anaerobik akan menghasilkan produk akhir pada kondisi pH netral. Contoh dari produk akhir tersebut adalah asam-asam volatil dengan berat molekul rendah seperti asetat dan laktat. Asam volatil dan alkohol tersebut dapat digunakan sebagai sumber energi atau sumber karbon oleh beberapa bakteri yang bersifat obligat anaerobik seperti halnya metana. Bakteri-bakteri ini dalam proses metabolismenya menghasilkan produk akhir berupa gas metana.

Bakteri metana yang telah berhasil diidentifikasi terdiri dari empat genus yaitu :

1. Methanobacterium, bakteri bentuk batang dan tidak membentuk spora
2. Methanobacillus, bakteri bentuk batang dan membentuk spora
3. Methanococcus, bakteri bentuk sarcinae
4. Methanosarcina, bakteri bentuk sarcinae

Keempat jenis bakteri tersebut mampu mengoksidasi hidrogen dengan

menggunakan CO_2 sebagai aseptor elektron. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut



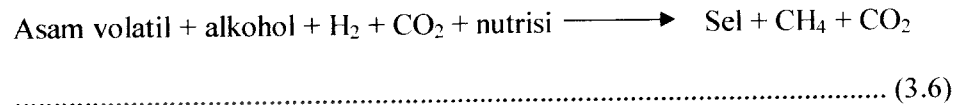
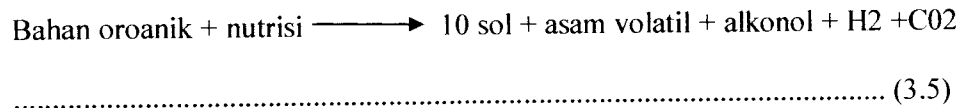
Reaksi di atas akan menghasilkan energi sedangkan unsur karbon yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tidak dihasilkan. Kebutuhan karbon dan CO_2 tersebut diperoleh dari substrat atau hasil produksi dari proses oksidasi bahan organik.

Proses fermentasi metana pada air limbah dapat menghasilkan komponen organik yang sangat beragam yang dapat dioksidasi oleh bakteri, karena bakteri metana yang aktif juga sangat beragam dan saling berinteraksi. Asam volatil akan diolah menjadi asam lainnya dengan berat molekul yang lebih kecil dan asam tersebut bertindak sebagai mediator-penyebab pembentukan metana.

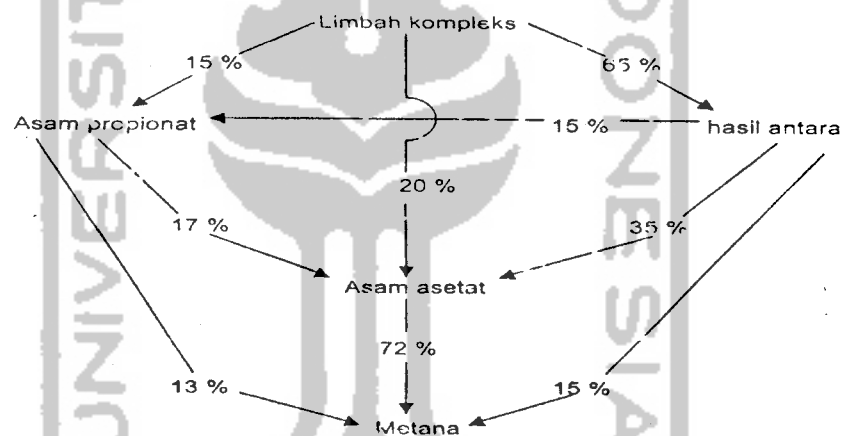
Tahapan reaksi yang penting dalam fermentasi adalah reaksi asam asetat yang juga dapat digunakan oleh bakteri metana. Selama proses fermentasi oleh aktivitas bakteri metana juga terjadi proses pembentukan sel karena karbon yang memasuki sistem tidak semuanya berfungsi hanya sebagai substrat saja tetapi juga sebagai bahan pembentuk sel. Reaksi

selengkapnya adalah sebagai berikut :

bakteri



Sebagai substrat untuk pembentukan metana dapat digunakan asam propionat, asam asetat dan komponen lainnya dengan proporsi dan peruraian seperti gambar 3.2 .



Gambar 3.2 Substrat dalam fermentasi anaerobik metana

Pada sistem produksi asam atau metana biasanya keduanya berlangsung secara simultan. Hal ini menyebabkan sel yang terbentuk selama proses sulit untuk dipisahkan dari substratnya. Selain itu dengan sistem ini sel yang dihasilkannya sangat rendah yaitu hanya sekitar 0.05 gram/g COD yang terdapat pada sistem.

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses anaerobik adalah :

3.3.6.1 PH

PH yang optimal untuk berlangsungnya proses anaerobik berkisar antara pH 6.5 - pH 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).

3.3.6.2 Suhu

Suhu yang optimum 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 metana akan menurun dengan tajam.

3.3.6.3 Pencampuran

Adanya ion logam yang berlebihan tidak dikehendaki pada proses fermentasi metana, karena akan menyebabkan keracunan bagi mikroba pada konsentrasi tertentu. Ion-ion logam yang bersifat racun tersebut adalah antara lain Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} yakni bila konsentrasinya lebih dari 1000 mg/l. Sedangkan bila konsentrasi ion logam tersebut hanya sekitar 50 - 200 mg/l maka pengaruh yang ditimbulkannya adalah pengaruh yang menguntungkan karena memberikan pengaruh stimulasi.

3.3.6.4 Waktu retensi

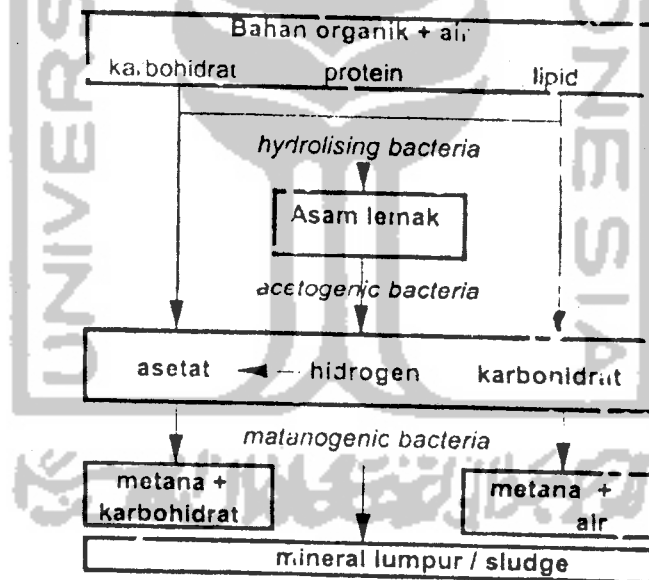
Waktu retensi minimum untuk proses anaerobik umumnya 24 jam.

3.3.6.5 Kapasitas dan bahan-bahan nutrisi yang diperlukan untuk proses.

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 untuk diperhatikan yaitu biasanya dalam perbandingan

Karbon : nitrogen : fosfat = 150 : 5.5 : 1

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.3



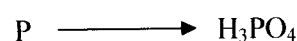
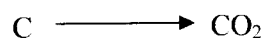
Gambar 3.3 Prinsip proses anaerobik yang disederhanakan

Laju fermentasi pada sistem anaerobik lazimnya Selalu lebih rendah dibanding dengan sistem aerobik. Hal ini disebabkan karena kesetimbangan antara substrat dan produk sulit dipertahankan, yakni CO₂ yang terbentuk yang akan

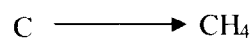
mempengaruhi laju fermentasi tidak dapat keluar dari sistem sehingga terakumulasi dan meningkat, terutama bila laju pembentukan metana lambat. Contoh lainnya adalah sulitnya mengatur laju pembentukan metana yang sebanding dengan laju fermentasi asam, *Methanobacterium* umumnya tumbuh lebih lambat jika dibandingkan dengan bakteri yang dalam aktivitasnya akan membentuk asam. Waktu regenerasi bakteri metana umumnya mencapai 12 jam, sedangkan untuk bakteri yang bersifat fakultatif, waktu regenerasi hanya 0.3 jam atau kurang.

Sebagai akibat menurunnya oksigen terlarut di dalam air adalah menurunnya kehidupan hewan dan tanaman air. Hal ini disebabkan karena makhluk-makhluk hidup tersebut banyak yang mati atau melakukan migrasi ke tempat lain yang konsentrasi oksigennya masih cukup tinggi. Jika konsentrasi oksigen terlarut sudah terlalu rendah, maka mikroorganisme aerobik tidak dapat hidup dan berkembang biak, tetapi sebaliknya mikroorganisme yang bersifat anaerobik akan menjadi aktif memecah bahan-bahan tersebut secara anaerobik karena tidak adanya oksigen. Pemecahan komponen-komponen secara anaerobik akan menghasilkan produk-produk yang berbeda seperti terlihat di bawah ini.

Kondisi aerobik :



Kondisi anaerobik :



fosfor

..... (3.7)

Senyawa-senyawa hasil penguraian secara anaerobik seperti amin, H₂S dan komponen fosfor, mempunyai bau yang menyengat, misalnya amin berbau anyir, H₂S berbau busuk. Oleh karena itu perubahan badan air dari kondisi aerobik menjadi anaerobik tidak dikehendaki.

Beberapa alasan yang dapat dipakai untuk penggunaan proses anaerobik dalam pengolahan limbah antara lain adalah kegunaan dari produk akhirnya, stabilisasi dari komponen dan memberikan karakteristik tertentu pada daya ikat air produk yang menyebabkan produk dapat dikeringkan dengan mudah.

3.4 DEWATS

DEWATS merupakan singkatan dari “*Decentralized Wastewater Treatment Systems*” (sistem pengolahan air limbah terdesentralisasi).

Aplikasi *DEWATS* didasarkan pada prinsip pemeliharaan sederhana berbiaya rendah/murah karena bagian paling penting dari sistem ini beroperasi tanpa memerlukan input energi, serta tidak dapat dimatikan dan dihidupkan dengan sengaja.

DEWATS menyediakan teknologi dengan biaya terjangkau, karena sebagian besar bahan/input tersedia di lokasi setempat.

- 1 *DEWATS* menyediakan pengolahan limbah industri maupun domestik
- 2 *DEWATS* mengolah limbah dengan kapasitas aliran 1-1000 m³ per hari

- 3 *DEWATS* dapat diandalkan, tahan lama dan toleran terhadap fluktuasi masukan limbah
- 4 *DEWATS* tidak memerlukan pemeliharaan yang rumit.

Penerapan *DEWATS* didesain sedemikian rupa sehingga lahan yang tersedia terpakai dengan efisien. Akan lebih baik jika *DEWATS* sebisa mungkin dibangun di lahan yang berposisi paling rendah, karena limbah cair bisa dialirkan dari sumbernya ke lokasi pengolahan dengan hanya mengikuti gaya gravitasi.

Tempat pengolahan awal dan sekunder *DEWATS* terletak di bawah tanah dan ditutup dengan cor beton. Oleh karena itu, sistem ini tidak mengganggu pemandangan dan tidak berbau. Pengolahan awal dan sekunder bisa dibangun dibawah lahan parkir dan bisa disesuaikan dengan lingkungan sekitarnya. Total lahan yang diperlukan untuk pengolahan *DEWATS* tergantung pada total volume air limbah, kadar polusi, puncak aliran maksimal dan faktor lain.

Berdasarkan pada desain yang ada, lahan rata-rata yang diperlukan *DEWATS* berkisar antara 1,5 – 3 m² per m³ alira air limbah setiap hari.

Sistem kerja *DEWATS* tanpa menggunakan kemampuan secara teknis

Kebutuhan pada *DEWATS* :

1. kemampuan pengaturan secara umum (skala)
2. operasi dan pemeliharaan sederhana (*O & M*)
3. proses secara nyata, stabil dan terang-terangan
4. sedikit atau tidak memakai bahan kimia
5. sedikit atau tidak memakai penyediaan energi eksternal.
6. tersedianya tempat perbaikan lokal.

Sistem pengolahan Dewats didasarkan pada 4 sistem pengolahan:

1. pengolahan awal dan sedimentasi
2. pengolahan sekunder anaerobik dengan reaktor fixed bed atau reaktor baffle
3. pengolahan tersier aerobik / anaerobik pada sistem filter aliran bawah tanah
4. pengolahan tersier aerobik / anaerobik di dalam kolam.

Sedimentasi dan pengolahan primer pada kolam sedimentasi, septik tank atau Imhoff tank

Pengolahan anaerob sekunder pada fixed bed filters (*anaerobik filters*) or baffled septik tank, Pengolahan anaerobik atau aerobik sekunder dan tersier pada constructed wetlands (*subsurface flow filters*), Pengolahan anaerobik atau aerobik sekunder dan tersier pada kolam

Sistem ini sepakat dikombinasikan pada kualitas dari influent dan effluent air buangan yang dibutuhkan.

Sebagian besar sama dalam skala kecil dan sistem pengolahan terdesentralisasi yang cukup besar. Pada dasarnya pada tangki sedimentasi lumpur telah diendapkan dan distabilkan pada anaerobik digestion. Materi terlarut dan tersuspensi yang tertinggal di dalam tangki tidak terolah. Septik tank ini terdiri dari 2-3 ruang (kompartemen). Digunakan pada air buangan yang mengandung SS, terutama air buangan domestik sederhana, tahan lama dibutuhkan ruang yang kecil karena terletak dibawah tanah dan sangat efisien dalam perbandingan harga. Efisiensi pengolahan rendah, effluent tidak berbau (jika terjadi pada proses

anaerobik). Penerapan DEWATS dirancang sedemikian rupa sehingga air yang diolah memenuhi persyaratan peraturan dan hukum lingkungan.

3.4.1 Teknik Pengolahan Sistem *DEWATS*

Pengolahan pada dasarnya merupakan proses stabilisasi polutan melalui proses oksidasi, pemisahan bahan padatan (*solid*), serta penghilangan zat-zat beracun atau berbahaya.

Penerapan rancang bangun *DEWATS* didasarkan pada prinsip perawatan yang sederhana dan berbiaya rendah/murah, karena bagian paling penting dari sistem ini beroperasi tanpa memerlukan input energi serta tidak dapat dimatikan dan dihidupkan dengan tiba-tiba.

DEWATS menyediakan teknologi dengan biaya terjangkau/murah, karena sebagian besar bahan/input tersedia di lokasi setempat.

- 1 *DEWATS* menyediakan pengolahan limbah industri maupun domestik.
- 2 *DEWATS* mengolah limbah dengan kapasitas aliran 1-500 m³ per hari.
- 3 *DEWATS* dapat diandalkan bangunannya tahan lama, dan toleran terhadap fluktuasi masukan limbah.
- 4 *DEWATS* tidak memerlukan pemeliharaan yang rumit.

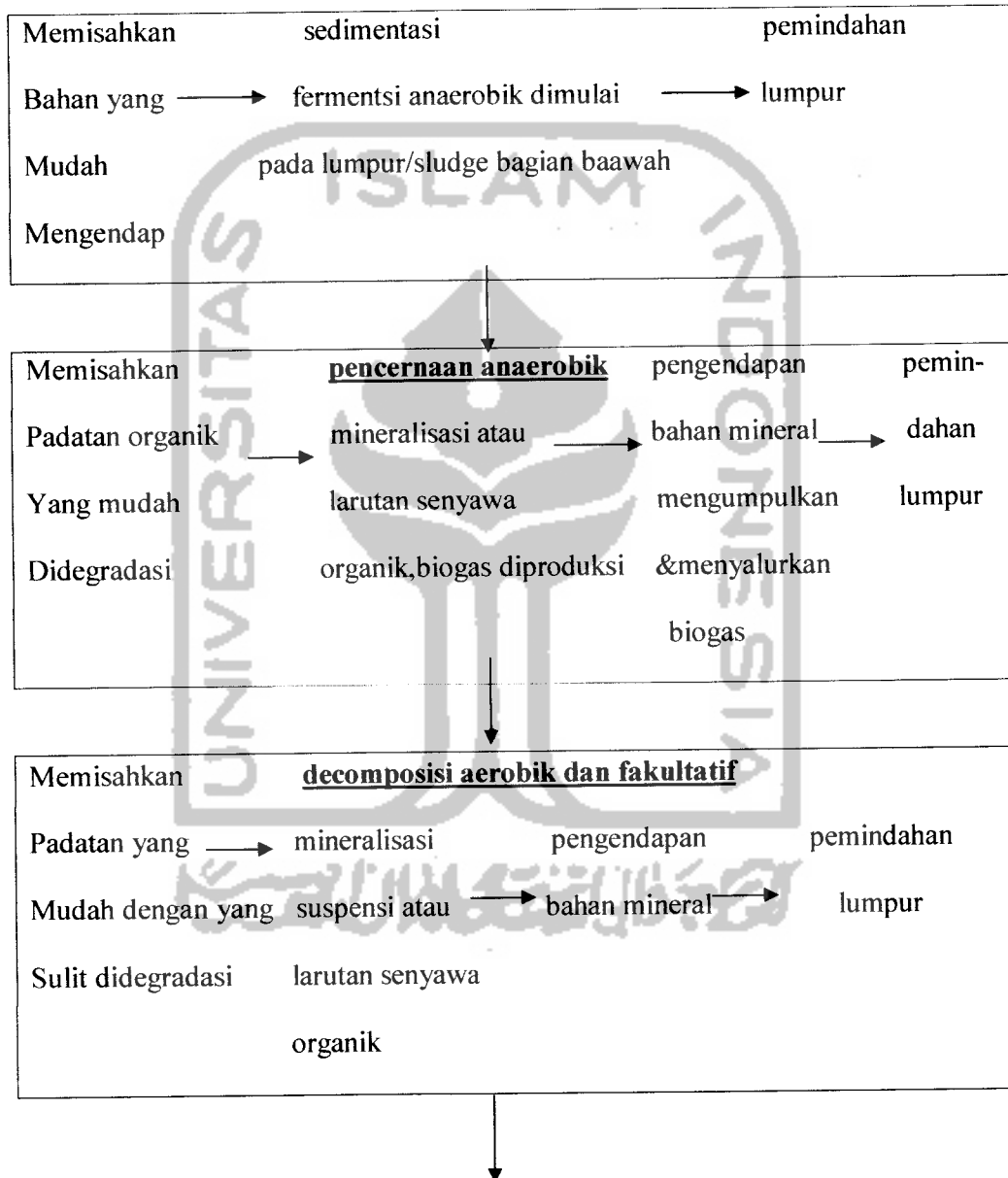
SISTEM PENGOLAHAN *DEWATS*

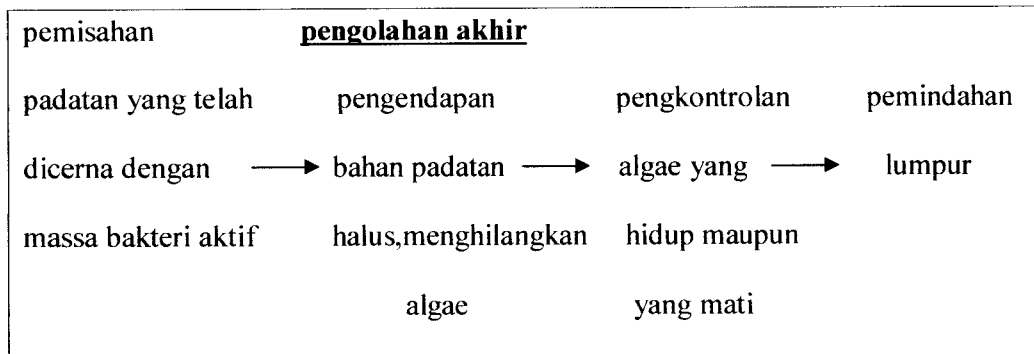
Aplikasi *DEWATS* berdasarkan pada empat sistem pengolahan sebagai berikut :

1. Pengolahan primer dan sedimentasi dengan sistem septictank
2. Pengolahan sekunder, anaerob dengan *fixed bed reaktor* atau *baffle reaktor*.
3. Pengolahan tersier, aerob/anaerob pada sistem filter aliran bawah tanah.

4. Pengolahan tersier, aerob/anaerob dengan sistem kolam.

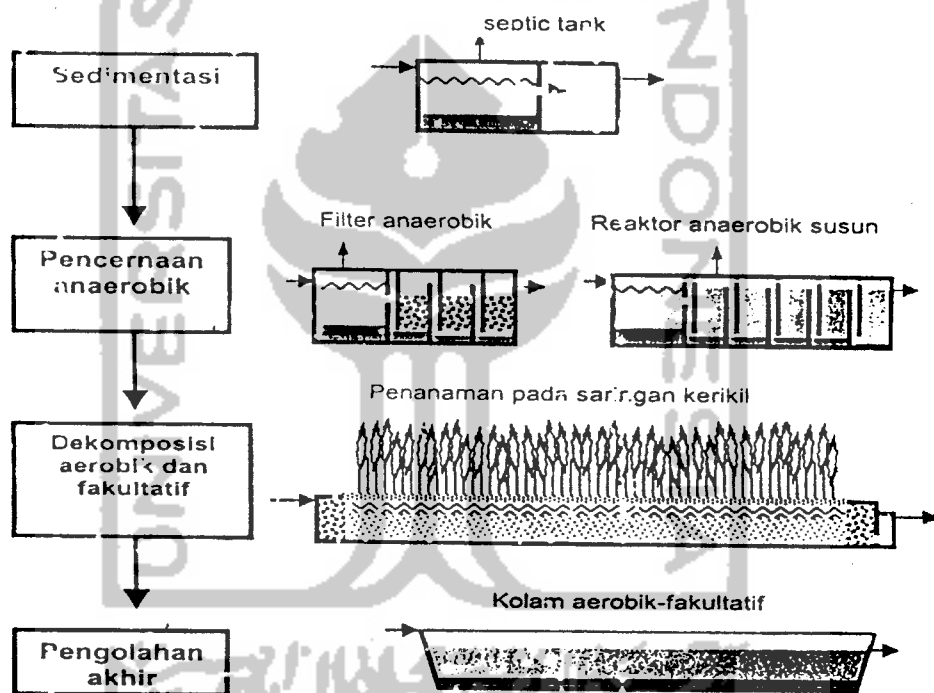
DEWATS didesain sedemikian rupa sehingga air yang diolah memenuhi baku mutu sesuai yang dipersyaratkan oleh pemerintah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.4 dan 3.5 .





Sumber : DEWATS

Gambar 3.4 Pengolahan Air Limbah DEWATS



Sumber : DEWATS

Gambar 3.5 Sistem Pengolahan Air Limbah DEWATS

3.5 Bak Septic

Bak septik adalah sistem pengolahan limbah setempat dalam skala kecil yang amat lazim digunakan didunia. Pada dasarnya proses yang terjadi pada bak septik

adalah sedimentasi (pengendapan) dan dilanjutkan dengan stabilisasi dari bahan-bahan yang diendapkan tersebut lewat proses anaerobik.

Kelebihan bak septik adalah murah, konstruksinya mudah, sederhana dan dengan pengoperasian yang baik, umur teknisnya bisa amat panjang. Demikian juga tempat yang dibutuhkan relatif kecil dan biasanya bawah permukaan tanah (*underground*). Sedangkan kelemahan septiktank adalah efisiensi pengolahannya relatif rendah dan keluaran yang dihasilkannya masih berbau, karena masih mengandung bahan yang belum terdekomposisi secara sempurna.

3.5.1 Karakteristik Bak Septic

Jenis pengolahan	: sedimentasi, stabilisasi lumpur, penurunan COD 20 – 50%
Macam air limbah	: domestik dan lainnya yang disertai pengendapan padatan
Kelebihan	: sederhana, tahan lama, underground, kebutuhan lahan 0,5 m ² /m ³ air limbah harian
kelemahan	: hanya untuk pengolahan awal, keluaran masih berbau

Bak septik umumnya terdiri dari 2 ruang (*chamber*). Pada ruang pertama (*treatment chamber 1*) berkisar antara 50% - 70% dari total volume desain, karena sebagian besar dari lumpur/sludge dan scum akan terjadi di ruang ini.

Di dalam ruang pertama ini air limbah yang masuk akan menjadi 3 bagian, yaitu :

- 1 Lumpur/sludge yang mengendap pada bagian bawah, untuk selanjutnya lumpur ini akan terurai lewat proses anaerobik
- 2 Supernatan adalah cairan yang telah berkurang unsur padatnya, untuk selanjutnya akan mengalir menuju ke ruang/chamber 2

- 3 Scum merupakan bahan yang lebih ringan daripada minyak, lemak dan bahan ikutan lainnya. Scum ini bertambah lama bertambah tebal. Karena itu perlu dihilangkan secara periodik (biasanya sekali dalam 3 tahun). Scum ini sebenarnya tidak mengganggu reaksi yang terjadi selama proses pengolahan, tetapi apabila terlalu tebal akan memerlukan tempat hingga kapasitas treatment berkurang.

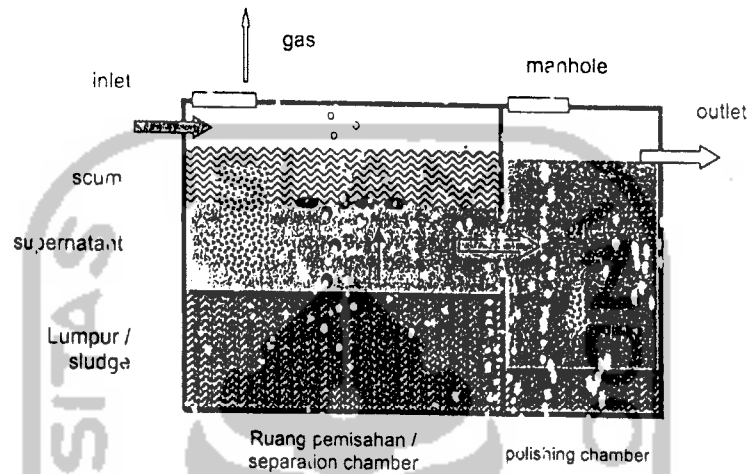
Sedangkan pada ruang kedua (dan seterusnya) yang terjadi adalah :

- 1 Endapan lumpur/sludge, khususnya partikel yang tidak terendapkan pada ruang pertama.
- 2 Supernatan yang selanjutnya menjadi inflow bagi konstruksi selanjutnya (*baffle reaktor atau anaerobik filter*).

Prinsip dua pengolahan tersebut (*sedimentasi dan stabilisasi*) adalah pengolahan mekanik dengan pengendapan dan pengolahan biologi dengan kontak antara limbah baru dan lumpur aktif di dalam bak septik. Pengendapan optimal terjadi ketika aliran tenang dan tidak terganggu. Pengolahan biologi dioptimalkan oleh percepatan dan kontak intensif antara aliran baru dan lumpur lama, apalagi bila aliran mengalami turbulen.

Dengan aliran yang tenang dan tidak terganggu, supernatan (cairan yang telah berkurang unsur padatnya) yang tertinggal di bak septik lebih segar dan baunya tidak terlalu menyengat, yang menunjukkan bahwa penguraian belum berlangsung. Dengan aliran turbulen, penguraian larutan dan penghancuran pada zat padat berlangsung cepat dikarenakan adanya kontak intensif antara limbah segar dan yang sudah aktif. Meski demikian, ketenangan untuk pengendapan tidak

mencukupi, sehingga padatan terlarut yang berlebih akan keluar oleh aliran turbulen. Buangan tersebut bebau karena padatan aktif dalam bak belum terfermentasi secara sempurna. Gambaran mengenai bangunan dapat dilihat pada gambar 3.6.



Sumber : DEWATS

Gambar 3.6 Bak Septik

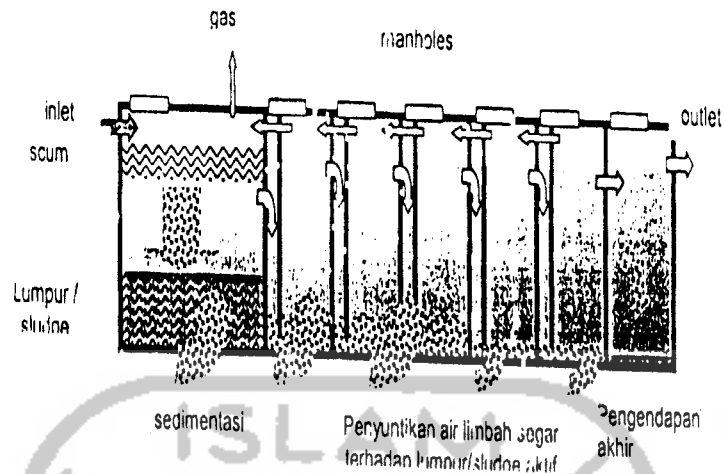
3.6 Septictank susun (*Anaerobic Baffled Reactor*)

Septictank susun (yang juga dikenal dengan *baffle septic tank* atau *baffle reaktor*) bukan sekedar septictank yang ditambah kotak chambernya. Karena proses yang terjadi di dalam septic tank susun adalah berbagai ragam kombinasi proses anaerobik hingga hasil akhirnya lebih baik, proses-proses tersebut adalah :

- 1 Sedimentasi padatan
- 2 Pencernaan anaerobik larutan padatan melalui kontak dengan lumpur/sludge
- 3 Pencernaan anaerobik (*fermentasi*) lumpur/sludge bagian bawah
- 4 Sedimentasi bahan mineral (*stabilisasi*)

Gambaran mengenai bangunan dapat dilihat pada gambar 3.7





Sumber : DEWATS

Gambar 3.7 Septic Tank susun (*Anaerobic Baffled Reactor*)

3.6.1 Karakteristik *Baffle Reaktor* :

Jenis pengolahan : degradasi anaerobik, penurunan COD 60-90%

Macam air limbah : air limbah domestik dan air limbah industri dengan ratio

COD/BOD kecil.

Kelebihan : sederhana, handal, tahan lama, efisiensi tinggi, di bawah permukaan bawah tanah

Kelemahan : butuh ruangan yang besar selama konstruksi, kurang efisien untuk limbah yang ringan, butuh waktu yang panjang untuk pemasakan/pencernaan.

Pada ruang pertama baffle reaktor, proses yang terjadi adalah proses settling/pengendapan (sama yang terjadi pada septic tank). Pada ruang selanjutnya proses penguraian karena kontak antara limbah dengan akumulasi mikroorganisme. Baffle reaktor yang baik mempunyai minimum 4 chamber.

Faktor penting yang benar-benar diperhatikan dalam desain adalah waktu kontak yang ditunjukkan dengan kecepatan aliran ke atas (*uplift* atau *upstream velocity*) di dalam chamber no 2 sampai dengan no 5. Bila terlampau cepat maka proses penguraian tidak terjadi dengan semestinya dan malah bangunan yang kita buat percuma saja. Kecepatan aliran uplift jangan lebih dari 2 m/jam.

Untuk keperluan desain HRT tertentu uplift velocity ini tergantung dari luas penampang (panjang dan lebar). Dalam hal ini faktor tinggi (kedalaman chamber) tidak berpengaruh atau tidak berfungsi sebagai variabel dalam desain. Konsekuensinya model bak yang dibutuhkan adalah yang penampangnya luas tapi dangkal. Karena itu sistem ini relatif membutuhkan lahan yang luas hingga kurang ekonomis untuk unit besar. Tetapi untuk unit kecil dan menengah baffle septictank cukup ideal. Lebih-lebih fluktuasi/goncangan hydraulic dan organik load tidak begitu mempengaruhi untuk kerja sistem ini.

Variable desain berikutnya adalah hubungan antara panjang (L) dengan tinggi (h). Agar limbah yang masuk terdistribusi secara merata maka dianjurkan L antara 0,5 – 0,6 dari h. Dengan demikian meskipun h tidak ada pengaruhnya terhadap uplift velocity, tetapi rasio antara h dan L perlu diperhatikan agar distribusi limbah bisa merata dan kontak dengan mikroorganisme bisa efisien. Variabel desain yang lain adalah HRT (hydraulic retention time) pada bagian cair (di atas lumpur) pada baffle reaktor minimum harus 8 jam.

Baffle reactor cocok untuk banyak macam limbah cair, termasuk limbah domestik. Efisiensinya cukup besar pada beban organiknya yang tinggi. Efisiensi pengurangan COD dalam pengolahan antara 65% - 90%, sedang BOD – nya

antara 70% - 95%. Namun perlu dicatat bahwa proses pembusukan memerlukan waktu sekitar 3 bulan.

Lumpur harus dikuras secara rutin seperti halnya pada septictank. Sebaiknya sebagian lumpur selalu harus disisakan untuk kesinambungan efisiensinya. Sebagai catatan bahwa jumlah lumpur di bagian depan digester lebih banyak daripada di bagian belakang.

Hal yang perlu diperhatikan pada tahap permulaan penetapan baffle reaktor bahwa, efisiensi pengolahan tergantung pada perkembangbiakan bakteri aktif. Pencampuran limbah baru dengan lumpur lama dari septictank mempercepat pencapaian kinerja pengolahan yang optimal. Pada prinsipnya lebih baik mulai mengisi limbah dengan seperempat aliran harian dan bila memungkinkan dengan limbah cair yang sedikit lebih keras. Selanjutnya pengisian dinaikkan secara perlahan setelah 3 bulan. Hal tersebut akan memberi kesempatan yang cukup bagi bakteri untuk berkembang biak sebelum padatan tersuspensi keluar. Berawal dengan beban hidraulik penuh akan menunda proses pembusukan.

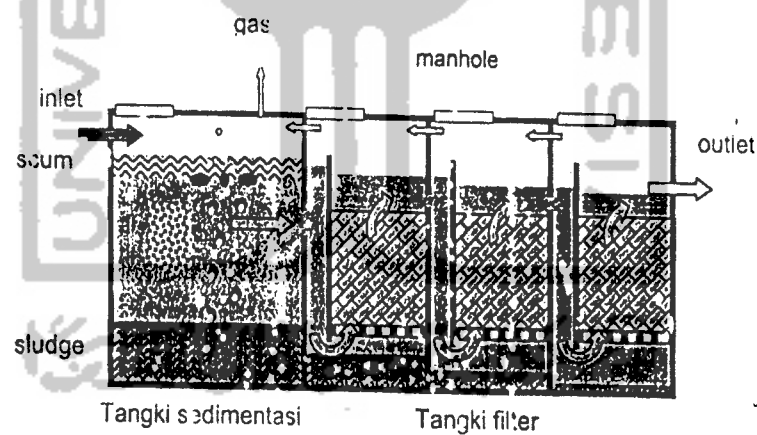
Meskipun interval pengurasan secara reguler diperlukan. Hal penting yang perlu dijaga bahwa sebagian lumpur aktif harus disisakan dalam ruangan untuk menjaga proses pengolahan secara stabil.

3.7 Filter Anaerobik

Pada pengolahan sistem septictank yang telah kita bahas di atas bahwa proses yang terjadi adalah sedimentasi (pengendapan) dari bahan-bahan yang dapat terendapkan dan selanjutnya terjadi proses penguraian/digestion dari bahan-bahan

yang terendapkan tersebut. Sedangkan kandungan bahan yang masih terikut (tidak terendapkan) praktis tidak mengalami proses apapun.

Filter anaerobik (*fixed bed* atau *fixed film rektor*) menggunakan prinsip yang berbeda dengan septictank, karena sistem ini justru diharapkan untuk memproses bahan-bahan yang tidak terendapkan dan bahan padat terlarut (*dissolved solid*) dengan cara mengkontakkan dengan surplus bakteri yang aktif. Bakteri tersebut bersama bakteri lapar akan menguraikan bahan organik terlarut (*dissolved organic*) dan bahan organik yang terdispersi (*dispersed organic*) yang ada dalam limbah. Sebagian besar bakteri tersebut tidak bergerak. Bakteri cenderung diam dan menempel pada partikel padat seperti pada dinding reaktor atau tempat lain yang permukaannya bisa digunakan sebagai tempat tempelan. Gambaran mengenai bangunan dapat dilihat pada gambar 3.8



Sumber : DEWATS

Gambar 3.8 Filter Anaerobik

3.7.1 Karakteristik Filter Anaerobic

Jenis pengolahan : degradasi anaerobik bahan padatan terlarut dan tersuspensi
penurunan COD 65% - 85%.

Macam air limbah : air limbah domestik dan air limbah industri dengan resiko
COD/BOD kecil.

Kelebihan : sederhana dan tahan lama, efisiensi pengolahan tinggi,
Underground, kebutuhan lahan : $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ limbah harian.

Kelemahan : ada kemungkinan tersumbat, clogging possible, keluaran/
Effluent sedikit berbau.

Bahan filter yang dimaksud adalah media dimana bakteri dapat menempel dan air limbah dapat mengalir diantaranya. Selama aliran ini kandungan organik akan diuraikan oleh berbagai bakteri dan hasilnya adalah pengurangan kandungan organik pada effluent.

Penggunaan media bisa bermacam-macam tetapi pada prinsipnya lebih luas permukaan akan lebih baik fungsinya. Materi filter seperti kerikil, batu, batu bara, atau kepingan plastik yang berbentuk khusus menyediakan area permukaan tambahan untuk tempat tinggal bakteri. Jadi limbah cair yang baru dipaksa untuk bersinggungan dengan bakteri aktif secara intensif. Semakin luas permukaan untuk perkembangbiakan bakteri, semakin cepat penguraiannya. Media yang baik luas permukaannya (*surface area*) kira-kira $90 - 300 \text{ m}^2$ per m^3 volume yang ditempatinya.

Permukaan media yang kasar (seperti pada batuan *vulkanik basalt*) pada tahap permulaan setidaknya biasa menyediakan area yang lebih besar.

Selanjutnya selaput atau film bakteri yang tumbuh pada media filter tersebut dengan cepat menutup lubang-lubang yang lebih kecil pada permukaan media (batu) yang kasar tadi. Total permukaan filter sepertinya menjadi kurang penting untuk pengolahan daripada kemampuan fisiknya untuk menahan partikel padat bakteri tersebut.

Selaput bakteri harus diambil bila sudah terlalu tebal. Pengambilan bisa dilakukan dengan mengguyur balik air limbah atau dengan mengangkat massa filter yang dibersihkan di luar reaktor. Namun filter anaerob sangat dapat diandalkan dan kuat.

Penurunan efisiensi pengolahan merupakan indikator penyumbatan pada beberapa bagian. Penyumbatan terjadi ketika limbah cair mengalir hanya melalui beberapa pori yang terbuka, akibatnya aliran kecepatan tinggi akan menghanyutkan bakteri. Hasil akhir adalah penurunan waktu pembusukan dengan sedikit rongga yang terbuka.

Pengolahan dengan menggunakan anaerobik filter yang dioperasikan dengan baik bisa menurunkan nilai *BOD* antara 70% - 90%. Kualitas ini sesuai untuk limbah cair domestik dan semua limbah cair industri yang memiliki kandungan padatan tersuspensi (*TSS*) yang rendah.

Filter anaerob bisa dioperasikan sebagai sistem aliran kebawah ataupun aliran keatas. Sistem aliran keatas biasanya lebih disukai karena resiko bakteri yang masih aktif hanyut lebih sedikit. Disisi lain, pembilasan filter untuk membersihkannya lebih mudah dengan sistem aliran kebawah. Kombinasi ruang

aliran keatas dan aliran kebawah juga dimungkinkan. Kriteria penting dalam design adalah distribusi limbah cair pada area filter.

Lubang aliran kebawah dengan lebar penuh lebih disukai daripada pipa aliran kebawah. Ruang filter sebaiknya tidak lebih panjang daripada kedalaman air. Untuk struktur yang lebih kecil dan sederhana, massa filter terdiri atas batu vulkanik basalt (diameter 5 sampai 15 cm) atau batu kali (diameter 5 sampai 10 cm) yang diletakkan pada pelat beton berlubang. Filter dimulai dengan lapisan batuan besar pada bagian bawah. Pelat tersebut bertumpu pada balok kurang lebih 50 – 60 cm diatas dasar bak yang paralel dengan arah aliran. Pipa berdiameter setidaknya 15 cm atau lebih besar dari lubang kebawah memungkinkan pengambilan lumpur pada bagian dasar dengan bantuan pompa dari atas. Bila bak pengurasan lumpur ditempatkan disamping filter, mungkin lumpur bisa diambil dengan pipa tekanan hidrolis.

HRT (hydraulic retention time) pada anaerobik filter berkisar antara 1 – 2 hari (24 – 18 jam). Angka ini merupakan patokan umum mengingat proses degradasi pada proses anaerobik lebih lambat dibanding proses aerobik.

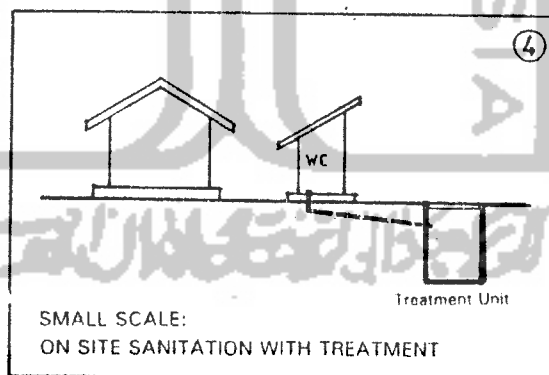
Pada tahap permulaan penerapan anaerobik filter. Karena proses pengolahan tergantung dari surplus massa bakteri aktif, lumpur aktif (misalnya dari septictank) sebaiknya disemprotkan pada bahan filter sebelum penerapan anaerobik filter dimulai. Bila memungkinkan, pelaksanaan dimulai dengan seperempat aliran harian, baru kemudian batas aliran ditingkatkan secara perlahan selama tiga bulan. Dalam prakteknya, kemungkinan besar sistem tersebut baru berfungsi secara optimal antara enam sampai sembilan bulan kemudian.

3.8. Kasifikasi Sistem Sanitasi

Sistem sanitasi ditentukan oleh skalanya. Ada tiga tingkatan dalam sistem sanitasi yaitu antara lain sanitasi *on-site*, *off-site* dan komunal (*Decentralized Environmental management for Yogyakarta, 2004*).

3.8.1 Sanitasi individu skala kecil

Pilihan pengumpulan di tempat, perawatan dan pengolahan limbah berada pada lokasi sumber limbah. Pembuangan pada umumnya terdiri dari perkolasi sedikit cairan ke dalam tanah dan penurunan secara berkala terhadap akumulasi lumpur. Sebagai solusi yang lebih murah diterapkan sistem sanitasi setempat yang dapat digunakan untuk daerah dengan kepadatan penduduk rendah (dibawah 150 cap/ha) dan dapat juga diadopsi untuk daerah dengan kepadatan penduduk sedang (150–300 cap/ha), asalkan di daerah tersebut terdapat lahan untuk penyerapan air tanah. Untuk lebih jelas mengenai pengertian diatas dapat dilihat pada gambar 3.9

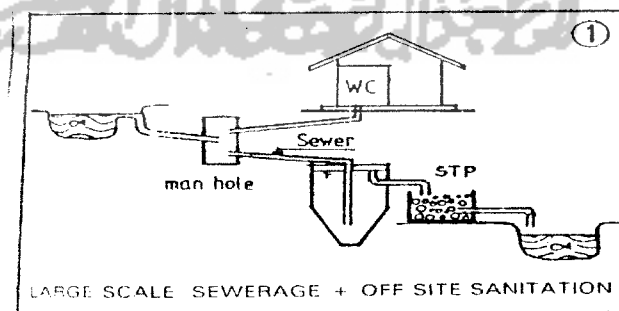


Sumber : YUIM'S

Gambar 3.9 Sanitasi On site

3.8.2 Sanitasi secara terpusat (*off-site*)

Air limbah dikumpulkan bersama-sama melalui sistem sewer kota dan pengolahan limbah secara *off-site* biasanya direncanakan berlokasi di pinggiran kota. Sistem penyaluran air limbah dapat dilakukan dengan sistem gravitasi atau juga dapat dilakukan dengan tekanan pompa, tetapi diperlukan biaya yang tinggi untuk operasional dan perawatan pompa. Beberapa faktor yang mendukung untuk dilakukannya pengolahan limbah secara *off-site* adalah lebih mudah dalam pemeliharaan pengolahan dengan efisiensi pengolahan yang tinggi dan effluen dari pengolahan lebih mudah untuk dibuang pada saluran air permukaan daripada dibiarkan tersaring secara alami oleh tanah. Tetapi kelemahan utama sistem *off-site* adalah memerlukan biaya yang tinggi untuk operator, operasi dan pemeliharaan. Jika mampu, pelayanan dilakukan untuk daerah dengan kepadatan penduduk diatas 500 cap/ha. Pengolahan *off-site* konvensional biasanya meliputi pengolahan primer (untuk menurunkan material padat), pengolahan sekunder (pengolahan secara biologis untuk menurunkan bahan organik), dan pengolahan lumpur. Untuk lebih jelas mengenai pengertian diatas dapat dilihat pada gambar 3.10



Sumber : YUIM'S

Gambar 3.10 Sanitasi Terpusat

3.9 Sanitasi Komunal

Di Kota Yogyakarta ada beberapa inisiatif masyarakat untuk pengelolaan limbah manusia, khususnya di wilayah yang tidak bisa dijangkau oleh jaringan air limbah. Kadang-kadang, masyarakat membangun satu pipa utama di sekitar daerah permukiman yang biasanya menuju sungai atau saluran irigasi. Kemudian warganya membangun sambungan rumah tangga masing-masing ke pipa utama tersebut. Beberapa fasilitas masyarakat, seperti MCK, merupakan bentuk lain dari sistem sanitasi komunal yang ditemukan di beberapa wilayah di Kota Yogyakarta. Dari tahun 1996 sampai 1997, ada tiga fasilitas sanitasi komunal yang dibangun masing-masing di Kelurahan ' Wirogunan, Purwokinanti, dan Kelurahan Brontokusuman di bawah pengawasan dan pendanaan YUDP. Berdasarkan upaya percontohan tersebut, Kantor Pengendalian Darnpak Lingkungan (KPDL) Kota Yogyakarta selanjutnya membangun empat unit fasilitas serupa di Kelurahan Tegalrejo, Prenggan, Patangpuluhan, dan Mergangsan. Kemudian bekerjasama dengan proyek *Decentralized Wastewater Treatment System* (DEWATS), Kota Yogyakarta melaksanakan lagi percontohan fasilitas sanitasi komunal di Kelurahan Serangan.

Jadi, saat ini ada delapan fasilitas sanitasi komunal, yang secara seluruhnya melayani sekitar 500 KK atau 2.520 jiwa. Janis pengolahan dan cakupan pelayanannya dari masing-masing fasilitas tersebut disajikan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Lokasi Dan Cakupan Fasilitas Sanitasi Komunal.

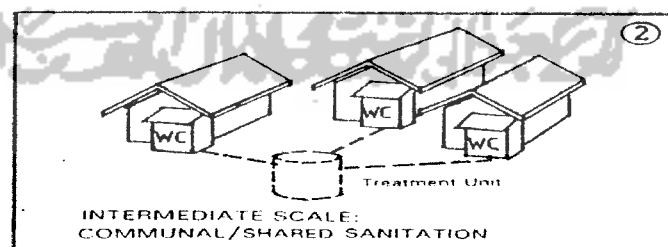
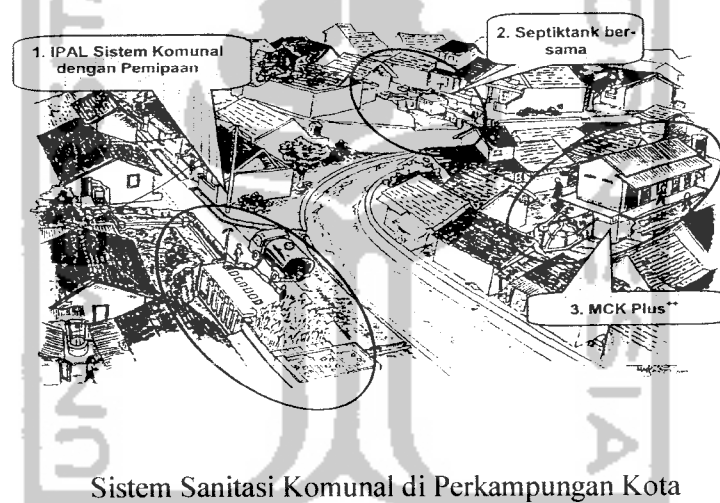
No.	Lokasi	Jenis Pengolahan	cakupan pelayanan	
			jumlah KK	jumlah jiwa
1	wirogunan	UASB	68	340
2	Purwokinanthi	Tangki Septik	35	35
3	Brontokusuman	Tangki Septik	40	200
4	Tegalrejo	Tangki Septik	50	250
5	Prenggan	Tangki Septik	50	250
6	Patangpuluhan	Tangki Septik	50	250
7	Margangsan	Tangki Septik	50	250
8	Serangan	Tangki septik yang dimodifikasi dengan baffle reactor dan filter	161	805
Total			504	2.52

(Sumber : DEWATS)

Sitem ini dilakukan untuk menangani limbah domestik pada wilayah yang tidak memungkinkan untuk dilayani oleh sistem terpusat ataupun secara individual. Penanganan dilakukan pada sebagian wilayah dari suatu kota, dimana setiap rumah tangga yang mempunyai fasilitas MCK pribadi menghubungkan saluran pembuangan ke dalam sistem perpipaan air limbah untuk dialirkan menuju instalasi pengolahan limbah komunal. Untuk sistem yang lebih kecil dapat melayani 2 – 5 rumah tangga, sedangkan untuk sistem komunal dapat melayani

10 – 100 rumah tangga atau bahkan dapat lebih. Effluent dari instalasi pengolahan dapat disalurkan menuju sumur resapan atau juga dapat langsung dibuang ke badan air (sungai).

Fasilitas sistem komunal dibangun untuk melayani kelompok rumah tangga atau MCK umum. Bangunan pengolah air limbah diterapkan di perkampungan dimana tidak ada lahan lagi untuk membangun sanitasi secara individu, lebih jelasnya lihat pada gambar 3.11. Sistem komunal ini kurang dapat berjalan dengan lancar di perkampungan karena kebanyakan dari penduduk/ rumah tangga kurang memperhatikan perawatan dari sistem yang ada.



Sumber : BORDA (Bremen Overseas Research Development Association)

Gambar 3.11 Gambaran ringkas sistem sanitasi komunal

3.10 COD (Chemical Oxygen Demand)

Jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zata-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*okxidizing agent*).

Angka *COD* merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. *COD* digunakan untuk menghitung kadar bahan organik dalam air buangan dan air alami. Equivalent oksigen dari bahan organik yang dapat dioksidasi dihitung dengan menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam. Kadar *COD* air buangan secara umum lebih besar dari *BOD* karena lebih banyak senyawa dapat dioksidasi secara kimia daripada biologis.

Analisa *COD* berbeda dengan analisa *BOD* namun perbandingan antara angka *COD* dan *BOD* dapat ditetapkan. Dalam tabel 3.3 dibawah ini terdapat perbandingan antara angka tersebut untuk beberapa jenis air.

Tabel 3.3 Perbandingan rata-rata angka *BOD*₅/*COD* untuk beberapa jenis air.

Jenis air	<i>BOD</i> ₅ / <i>COD</i> (Mg/l)
Air buangan domestik (penduduk)	0,40 — 0,6
Air buangan domestik setelah pengendapan primer	0,60
Air buangan domestik setelah pengolahan secara biologis	0,2
Air sungai	0,1

(Sumber : Metode Penelitian Air)

Tes COD hanya merupakan suatu analisa yang menggunakan suatu reaksi kimia yang menirukan oksidasi biologis (yang sebenarnya terjadi di alam), sehingga merupakan suatu pendekatan saja, karena itu tes COD tidak membedakan antara zat-zat yang sebenarnya tidak teroksidasi (*inert*) dan zat-zat teroksidasi secara biologis. Nilai COD ditentukan dari bahan organik yang *biodegradable* maupun *non-biodegradable*, sehingga hasil penetapan nilai COD biasanya lebih tinggi dari nilai BOD. Apabila nilai COD 3 kali lebih tinggi dari BOD, maka perlu diketahui apakah ada bahan-bahan yang bersifat toksik dan *non-biodegradable*.

Keuntungan tes COD dibandingkan tes BOD :

1. Analisa COD hanya memerlukan waktu 3 jam, sedangkan analisa BOD memerlukan waktu 5 hari.
2. Gangguan dari zat yang bersifat racun terhadap mikroorganisme (seperti Cr, Hg, CN⁻) pada tes BOD tidak menjadi soal pada tes COD.
3. Tes COD lebih teliti daripada tes BOD

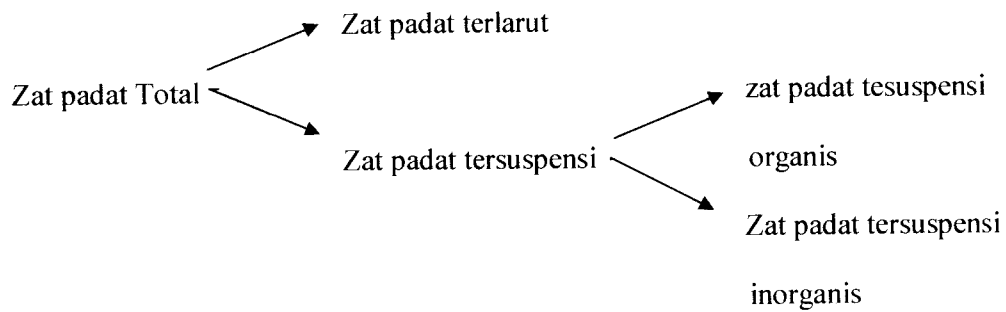
3.11 TSS (*Total Suspended Solid*)

Dalam air alam ditemui dua kelompok zat, yaitu zat terlarut seperti garam dan molekul organik, dan zat padat tersuspensi dan koloidal seperti tanah liat, kwarts. Perbedaan pokok antara kedua kelompok zat ini ditentukan melalui ukuran/diameter partikel-partikel tersebut. Perbedaan antara kedua kelompok zat yang ada dalam air alam cukup jelas dalam praktek namun kadang-kadang batasan itu tidak dapat dipastikan secara definitif. Dalam kenyataan sesuatu molekul organik polimer tetap bersifat zat yang terlarut, walaupun panjangnya lebih dari 10

μm , sedangkan beberapa jenis zat padat koloid mempunyai sifat dapat bereaksi seperti sifat zat-zat yang terlarut.

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 diantara partikel-partikel tersuspensi tidak keruh dan sinar tidak menyimpang. Seperti halnya ion-ion dan molekul-molekul (zat yang terlarut), zat padat koloidal dan zat padat tersuspensi dapat bersifat inorganis (tanah liat, kwarts) dan organis (protein, sisa tanaman dan ganggang, bakteri)

Dalam metode analisa zat padat, pengertian zat padat total adalah semua zat-zat yang tersisa sebagai residu dalam suatu bejana, bila sampel air dalam bejana tersebut dikeringkan pada suhu tertentu. Zat padat total terdiri dari zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi yang dapat bersifat organis dan inorganis seperti dijelaskan pada skema di bawah ini :



Sumber : Metode Penelitian Air

Gambar 3.12 Skema pembagian zat padat total.

Zat padat tersuspensi sendiri dapat diklasifikasikan sekali lagi menjadi antara lain zat padat terapung yang selalu bersifat organis dan zat padat terendap yang dapat bersifat *organis* dan *inorganis*.

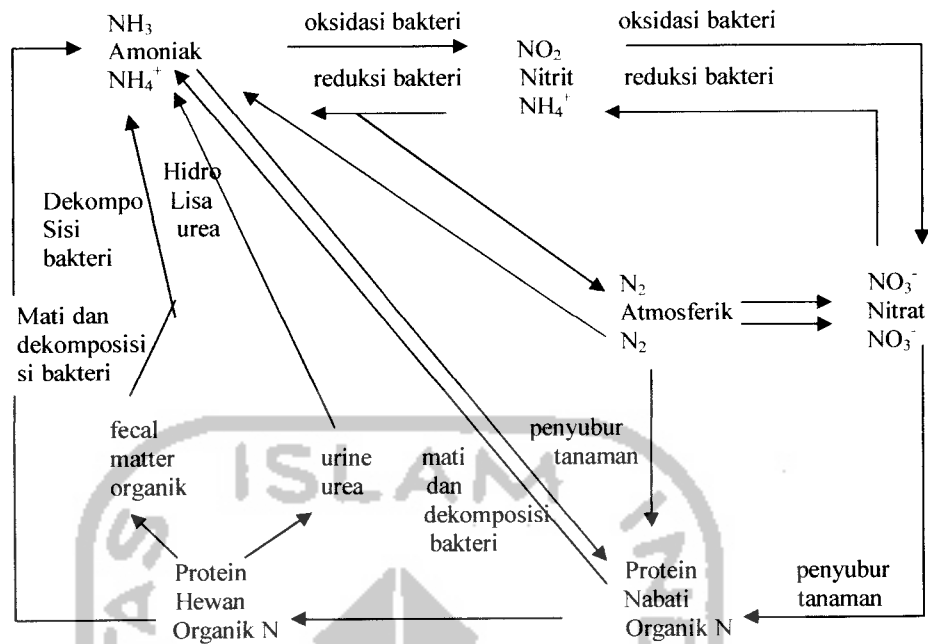
Zat padat terendap adalah zat padat dalam suspensi yang dalam keadaan tenang dapat mengendap setelah waktu tertentu karena pengaruh gaya beratnya. Penentuan zat padat terendap ini dapat melalui volumenya, disebut analisa volum lumpur (*sludge volume*), dan dapat melalui beratnya disebut analisa lumpur kasar atau umumnya disebut zat padat terendap (*settleable solids*).

TSS (*Total suspended solid*) adalah zat padat tersuspensi yang menyebabkan kekeruhan pada air, tidak terlarut dan tidak dapat mengendap langsung. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari pada sedimen. Air lumpur tinja mempunyai jumlah padatan tersuspensi yang sangat bervariasi tergantung dari karakteristik limbah. Seperti halnya padatan terendap, padatan tersuspensi akan mengurangi penetrasi sinar cahaya kedalam air sehingga mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesis (Srikandi Fardiaz, 1992).

Zat padat (*Total Solids*) dalam limbah cair adalah semua zat yang tetap tinggal sebagai residu pada pemanasan 103 °C dalam laboratorium. Partikel padat diklasifikasikan sebagai suspended solids atau filterable solids yang dapat menembus kertas saring dengan diameter minimal 1 mikron. Suspended solids meliputi zat padat yang dapat mengendap selama 60 menit pada imhoff cone. Zat padat tersaring / filterable solids terdiri zat koloidal dan dissolved solids. Zat koloidal terdiri dari zat partikulat dengan kisaran diameter dari 1 milikron hingga 1 mikron. Dissolved solids atau zat padat terlarut terdiri dari molekul atau ion organik dan anorganik. Zat koloidal tidak dapat dihilangkan melalui pengendapan. Umumnya untuk menghilangkan partikel tersebut secara biologi ataupun koagulasi diikuti sedimentasi. (Sugiharto, 1987).

3.12 Amoniak (NH_3)

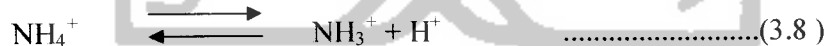
Amoniak merupakan hasil dekomposisi dalam bentuk bebas sebagai NH_3 maupun dalam bentuk ion amonium (NH_4^+) masuk ke lingkungan kita dan makhluk yang mati diikuti dekomposisi bakteri dari protein hewani maupun nabati, dekomposisi dari kotoran binatang dan manusia dan reduksi nitrit ke amoniak, seperti terlihat dalam gambar 3.13 .



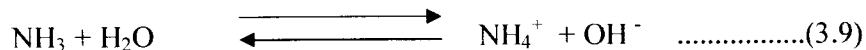
Sumber : (Tchobanoglous dan Burton, 1983).

Gambar 3.13 Skema siklus nitrogen

Amoniak merupakan nitrogen yang menjadi NH₄⁺ pada pH rendah dan disebut Amonium. Amoniak sendiri berada dalam keadaan tereduksi (-3). Keseimbangan ion NH₄⁺ dengan gas amoniak di dalam air, dinyatakan sebagai berikut :



Amoniak dapat larut dengan cepat di air. Gas amoniak bereaksi dengan air membentuk amoniak hidroksida dengan melepaskan panas yang tinggi. Perubahan amoniak menjadi amoniak dan ion hidroksida berlangsung dengan cepat dan cenderung menaikkan pH larutan (limbah). Reaksi bolak-balik dari perubahan tersebut, yaitu :



Perbandingan ion amonium dengan molekul amonium hidroksida adalah merupakan fungsi pH. Dalam pH 7 amoniak lebih banyak berbentuk ion amonium. (Tchobanoglous dan Burton, 1983).

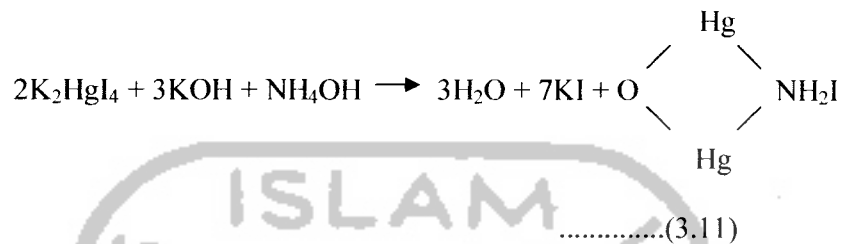
Amoniak dalam air permukaan berasal dari air seni (*urine*) dan tinja (*feces*) juga dari oksidasi zat organis ($H_aO_bC_cN_d$) secara mikrobiologis yang berasal dari alam atau air buangan industri dan penduduk (Alaerts, 1984). Sesuai reaksi sebagai berikut :



3.12.1 Sifat-sifat Amoniak

1. Amoniak adalah suatu zat kimia yang tidak menunjukkan adanya warna, ini merupakan suatu karakteristik. Dan jika diberi cahaya kemampuan warna akan sedikit nampak berupa gas yang terlarut dalam air, tetapi gas yang tercampur mempunyai ikatan lebih dari 16 berupa amoniak (Tchobanoglous, 1979).
2. Merupakan gas yang tidak berwarna dan berbau busuk. Disimpan dalam keadaan cair pada tekanan 10 (sepuluh) atmosfer, titik leleh - 77°C dan titik didih -33°C (Perdana Ginting, 1992).
3. Bila terkena api, gas ini mudah meledak dan gas amoniak menyala pada suhu 629°C (Perdana Ginting, 1992)
4. Bersifat basa karena dapat membirukan lakmus merah.
5. Amoniak apabila dilarutkan dalam air akan membentuk Amonium hidroksida pada derajat asam ± 7 (Tchobanoglous, 1979).

6. Amoniak dalam keadaan basa apabila ditambah reagen nessler (suatu larutan K_2HgI_4 yang alkalis) akan terbentuk warna coklat kuning (Sri Sumestri, 1987), kalau terdapat banyak amoniak akan terjadi endapan coklat (Hendardji, 1953). Dengan reaksi seperti berikut :



3.12.2 Sumber-sumber Amoniak

Amoniak dalam air permukaan dapat berasal dari

1. Air seni (*urine*)
Kandungan amoniak dalam air seni sebesar 27,40 mg/l (Hari, Tome, 2005)
2. Tinja (*feces*)
Kandungan amoniak dalam tinja sebesar 3,84 mg/l (Hari, Tome, 2005).
3. Oksidasi zat organis secara mikrobiologis yang berasal dari air alam.
4. Dipengaruhi oleh bentuk teroksidasi dan tereduksi unsur-senyawa dalam wetlands pada potensial Redoks Transformasi.

3.12.3 Pengaruh Amoniak terhadap lingkungan

Dalam suatu perairan air limbah yang berupa bahan organik memerlukan oksigen (O_2) untuk menguraikan bahan organik tersebut dengan bantuan bakteri.

Polutan semacam ini berasal dari berbagai sumber seperti kotoran hewan maupun manusia, tanaman-tanaman yang mati atau sampah organik dan sebagainya. (Fardiaz, 1992).

Jika masukan bahan organik kedalam perairan terus berlangsung dalam waktu yang lama, oksigen terlarut (DO) akan terus berkurang sampai bakteri anaerob dapat hidup menggantikan bakteri aerob. Bakteri ini melanjutkan proses penguraian tetapi dengan hasil yang berlainan, yaitu gas-gas yang berbau busuk, berbahaya bagi kesehatan dan berupa gas yang mudah menyala, seperti gas hidrogen sulfida (H_2S) yang berbau seperti telur busuk, metana (CH_4) atau gas rawa, fosin (PH_4) yang baunya amis dan amoniak (NH_3). (Prodjosantoso, 1991).

Adanya amoniak dalam air buangan akan mempunyai akibat-akibat buruk terhadap lingkungan. Eutrofikasi terjadi pada suatu badan air yang sebagai akibat terlalu banyak bahan makanan yang masuk kedalam perairan. Apabila perairan cukup nutrisi, maka tumbuhan air mudah berkembang biak, misal eceng gondok dan ganggang. Kadang-kadang suatu perairan tertutup sama sekali dengan tumbuhan, seolah-olah bukan perairan lagi, atau nampak berselimut hijau oleh ganggang. (Prawiro, 1988).

Dengan tertutupnya suatu perairan oleh tumbuhan air maka transmisi sinar matahari terhalangi akibatnya kegiatan fotosintesis tidak dapat berjalan. Akibat selanjutnya adalah berkurangnya oksigen terlarut yang akan mematikan ikan dan kehidupan air yang lainnya. (Benefield, 1980).

Pengaruh buruk Amoniak terhadap lingkungan dalam konsentrasi 50 ppm yang tanpa menggunakan proteksi akan menyebabkan iritasi pada mata dan menyebabkan gangguan pada membran pernafasan (*Mantell, 1974*).

Dalam konsentrasi yang rendah yaitu 0,037 mg/l menimbulkan bau yang menyengat dan mengurangi estetika (*Ariens, 1978*).

Hal lain dengan adanya amoniak dalam air buangan yang langsung dibuang dalam badan air akan menimbulkan atau terjadi pertumbuhan tumbuhan air, yang kemudian akan menutupi permukaan air, sehingga transmisi sinar matahari terhalangi dan proses fotosintesis tidak dapat berjalan yang diakibatkan berkurangnya oksigen terlarut sehingga akan mematikan kehidupan air (*Slamet Riyadi, 1984*).

Adapun dampak amoniak didalam air dan lingkungan antara lain :

1. Dapat mengakibatkan korosi pada pipa besi
2. $\text{NH}_3\text{-N}$ pada konsentrasi yang tinggi merupakan racun bagi ikan.
3. Konversi dari NH_4^+ menjadi NO_3^- mempergunakan oksigen terlarut dengan jumlah besar
4. NH_3 dan NO_3^- dengan konsentrasi rendah bertindak sebagai nutrisi.

3.13 Sistem Penanganan Air Limbah Secara Off Site

3.13.1 Sistem Terpisah (*Separated sewer system*)

Air limbah dari kamar mandi, jamban, cucian dan dapur dibuang melalui sambungan pipa ke sewer. Sistem ini merupakan sistem terpisah antara saluran air buangan dan air hujan (*anonim, 2001*). Aplikasinya terlihat pada *gravity*

separated sewer dan *shallow sewer*. Mengenai keuntungan dan kerugiannya dapat dilihat pada tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Keuntungan dan kerugian dari sistem terpisah

NO.	keuntungan	kerugian
1.	Dimensi tidak terlalu besar	Biaya awal cukup besar
2.	Hemat biaya pemompaan	
3.	Pengaliran tidak terpengaruh fluktuasi debit	
4.	Tidak ada back flow	

(Sumber : anonim, 2001)

3.13.2 Sistem Kombinasi (*Combined sewer System*)

Air hujan dan air limbah disalurkan melalui satu pipa ke suatu tempat atau ke instalasi pengolah (Ir. Askinin Bamayi, M.Eng, 1993). Selama terjadi hujan, bila aliran tersebut melampaui batas tertentu, air limbah encer dibuang atau dilimpaskan melalui saluran pelimpas langsung ke badan air atau sungai. Dalam hal ini diameter pipa akan ditentukan berdasarkan aliran maksimum air hujan, yang kemungkinannya terjadi sekali dalam beberapa tahun. Untuk lebih jelasnya mengenai keuntungan dan kerugiannya dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Keuntungan dan kerugian dari sistem kombinasi

No	Keuntungan	Kerugian
1.	Biaya investasi tidak terlalu besar	Membutuhkan bangunan pelengkap tambahan
2.	Terjadi pengenceran bahan organik	

(Sumber : anonim, 2001)

3.13.3 Pseudo Separate Sewer (Sistem Terpisah Sebagian / Sistem Pipa

Grafitasi)

Sistem ini digunakan untuk mengumpulkan air limbah dan air hujan melalui satu pipa (sistem tercampur) atau dengan sistem terpisah dan terisi sebagian (Ir.Askinin Bamayi, M.Eng, 1993). Kemiringan pipa harus cukup untuk mendapatkan kecepatan self-cleansing untuk mengangkut sedimen. Bila pipa mengilir penuh ataupun setengah penuh kecepatannya harus 0,6 – 0,7 m/detik (Ir.Askinin Bamayi, M.Eng, 1993). Keuntungannya adalah adanya efek penggelontoran dan pengenceran.

3.13.4 Vacuum Sewer

Vacuum sewer adalah sistem pengaliran air buangan yang memanfaatkan pompa vacuum. (Anonim, 2001). Penerapan sistem ini terlihat di negara Swedia, AS. Jamban, tempat cuci dan lain sebagainya dihubungkan langsung dengan tangki pengumpul air limbah yang berada diluar rumah. Tangki tersebut dihubungkan dengan sistem pipa pengumpul bertekanan.

Komponen-komponen dari sistem ini antara lain seperti House connection, Holding tank/septik tank, vacuum valve, stasiun pompa vakum. Sedangkan keuntungan dan kerugiannya dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Keuntungan, kerugian dan kriteria desain sistem vakum sewer

No.	Keuntungan	kerugian	Kriteria desain
1.	Mengurangi kemungkinan	Membutuhkan alat tambahan (vakum	Diameter pipa (PVC): 10–25 cm

	tersumbat	valve)	
2.	Dapat diletakan pada kedalaman yang rendah		Slope 0,2 %

(Sumber : anonim, 2001)

3.13.5 Pressure Sewer (Sistem Pipa Bertekanan / Sistem Non-Gravitasi)

Pressure sewer adalah sistem penyaluran air buangan dimana air buangan terlebih dahulu dikumpulkan pada septik tank dan kemudian secara periodik dipompa ke saluran air buangan. (Anonim, 2001). Penerapan sistem ini terlihat di daerah dengan kondisi tanah tandus, daerah dengan muka air tanah tinggi ataupun daerah yang lebih rendah daripada jaringan pipa air buangan. Komponen-komponen dari sistem ini antara lain seperti House connection, holding tank/septik tank, grinder pump.

Sistem ini berfungsi hanya untuk mengumpulkan air limbah yang sepenuhnya bertekanan. Air limbah dari sambungan dikumpulkan dalam manhole pada sisi rumah, dipompa kedalam pipa bertekanan (*site is pumped up into the pressure system*). Dalam hal ini kemiringan pipa tidak diperlukan.

Tabel 3.7 Perbedaan karakteristik khusus beberapa macam pipa

Bentuk	Keuntungan	kerugian	keterangan
penampang melintang			
Bulat	- baik secara hidrolis - dibuat dipabrik (- untuk keadaan geologis tertentu perlu lapisan	Sangat banyak dipakai

	batas diameter dalam 3000 mm) - perhitungan strukturnya sederhana	bedding khusus - banyak sambungan, menambah infiltrasi air tanah	
Persegi	- mudah merubah bentuknya bila lapisan penutup dan lebar galian terbatas - pekerjaan konstruksinya sederhana dan ekonomis - perhitungan strukturnya sederhana - secara hidrolis baik bila aliran tidak penuh	- sangat tidak stabil terhadap beban atas bila besi tulangnya berkarat - bila dicetak ditempat menambah waktu pekerjaan, percepatan penyelesaian pekerjaan dapat dilakukan pencetakan bagian atas secara terpisah dipabrik dan bagian bawah ditempat.	Umumnya, ketinggian lebih kecil dari lebarnya.
Ladam	- ekonomis	- pelaksanaan	- umumnya bagian

kuda	- baik secara hidrolis	konstruksi memakan waktu yang lama	atas melengkung.
Bulat telur	<p>- dibandingkan dengan bentuk yang lain untuk kondisi kemiringan dan debit yang sama debit untuk bentuk bulat telur mempunyai kecepatan lebih tinggi dan kedalaman yang lebih besar. Sehingga bahan padat dapat dialirkan dengan mudah.</p> <p>- Dibandingkan dengan bentuk lain untuk kondisi debit dan kecepatan yang sama dapat</p>	<p>- pembuatannya dipabrik tidak semudah bentuk yang lain.</p> <p>- Sulit pelaksanaan konstruksinya</p>	

	dibuat pada kemiringan yang landai.		
--	-------------------------------------	--	--

(Sumber : Ir.Askinin Bamayi, M.Eng, 1993).

Tabel 3.8 Keuntungan dan kerugian dari sistem pressure sewer

No.	Keuntungan	kerugian
1.	Mengurangi kebutuhan pompa di jaringan sewer utama	Tiap rumah membutuhkan pompa dan alat tambahan (misalnya valve)
2.	Diameter pipa lebih kecil	Membutuhkan biaya Operasi dan maintenance tambahan.
3.	Mempermudah pengolahan air buangan (beban hidrolis lebih merata)	
4.	Slope pipa lebih mendatar, dapat diletakan di kedalaman yang dangkal, mengikuti kontur	

(Sumber : Ir.Askinin Bamayi, M.Eng, 1993).

Tabel 3.9 Kriteria desain dari sistem pressure sewer

No.	Pressure sewer	Kriteria desain
1.	Diameter pipa (PVC)	5 – 15 cm
2.	Kedalaman pipa	75 cm
3.	Pompa (<i>grinder pump</i>)	1 – 2 hp

(Sumber : Ir.Askinin Bamayi, M.Eng, 1993).

3.14 ALTERNATIVE SISTEM PENYALURAN AIR BUANGAN

3.14.1 Aplikasi Teknologi Sanitasi

Meskipun pembuangan tinja dan air limbah non tinja secara setempat (*on-site*) dinegara berkembang lebih murah daripada sistem terpusat (*off-site*), namun ada hal-hal / keadaan tertentu, dimana kondisi tanah (permeabilitas tanah yang rendah, tanah bebatuan), tidak memungkinkan untuk diterapkan. Dalam keadaan seperti ini maka pembuangan air limbah dengan sistem terpusat mutlak diperlukan dan penentuan pilihan teknologi ini harus dievaluasi dari segi teknis, ekonomi dan pendanaan.

Teknologi pilihan yang tersedia adalah :

a. Sistem Tong Dengan Kereta Pengangkut

Sistem ini memerlukan tingkat kemampuan organisasi yang tinggi dari instansi pengelola (kotamadya) yang bertanggung jawab terhadap operasi pelaksanaannya. Peralatan untuk pengosongan tong sampah (*vacum tanker*) harus sudah tiba dilokasi tong yang berdekatan dengan waktu frekuensi pengosongan yang telah dipilih (2 sampai 4 minggu), kalau tidak maka sistem ini akan mengalami kerusakan. Di negara berkembang institusi yang memiliki tingkat kemampuan sedemikian tinggi sering tidak ada, sehingga sistem ini praktis tidak layak diterapkan.

b. Konvensional Sewerage

Sistem ini sangat mahal dan tidak mungkin diterapkan pada masyarakat dengan tingkat penghasilan yang rendah. Tujuan dari pembangunan sistem ini adalah untuk mengalirkan air buangan dari sumber domestik / institusional /

komersial yang mengandung material-material seperti solid dan liquid ketempat pengolahan air buangan secara *off site* (Ir.Askinin Bamayi, M.Eng, 1993). Untuk lebih jelasnya mengenai sistem konvensional sewerage ini dapat dilihat pada tabel 3.10.

Tabel 3.10 Metode pengaliran, keuntungan dan kerugian dari sistem konvensional

Metode pengaliran	keuntungan	Kerugian
- sistempengaliran terbuka	Desain memadai	- investasi besar (konstruksi dan
- gaya gravitasi	cukup secara teoritis dan telah	material) serta operasi
- diameter pipa besar (150–200 mm)	banyak diterapkan	dan pemeliharaannya
- slope pipa besar		- membutuhkan volume air dalam jumlah yang cukup besar untuk dapat mengalirkan solid
- butuh pemompaan		
- peletakan pipa dibawah jalan		- hanya sesuai untuk daerah dengan kepadatan penduduk tinggi

(Sumber : Anonim, 2001)

c. *Small Bore Sewer (Settled sewer atau Solids free Sewerage)*

Sistem ini cocok di negara berkembang dengan keadaan sebagai berikut :

- Sistem toilet / jamban tuang siram dengan perpipaan

bila efluen dari jamban tuang siram dari air limbah non tinja yang berasal dari rumah tangga tidak dapat dibuang secara onsite, maka small bore sewerage adalah cara yang paling tepat. Sistem ini dapat dipasang pada sistem yang baru, atau merupakan suatu bagian dari perencanaan kota untuk peningkatan kualitas dalam suatu pemukiman.

- Sistem septik tank dengan pipa

bila septik tank yang ada gagal berfungsi yang umumnya disebabkan oleh kemampuan tanah untuk menyerap air sudah terbatas karena tingkat pelayanan air bersih yang tinggi serta peningkatan kepadatan penduduk, maka efluen dari septik tank dibuang ke *small bore sewer*.

Hal ini jauh lebih murah daripada menghilangkan septik tank dan membangun jaringan perpipaan konvensional (konvensional *sewer network*). Dalam keadaan-keadaan tertentu khususnya untuk daerah yang sangat datar, maka akan sangat ekonomis untuk membangun sistem septik tank dengan perpipaan yang dihubungkan dengan jamban bervolume air rendah (*low volume cistern – flush*) didalam suatu area pemukiman yang baru.

d. *Shallow sewer (Simplified sewerage)*

Sistem ini merupakan suatu sistem pembuangan air limbah dengan sistem perpipaan yang cocok untuk diterapkan pada daerah-daerah yang padat serta masyarakat berpenghasilan rendah. Partisipasi masyarakat di dalam pelaksanaan pembangunan cukup tinggi dan biaya operasi dengan pemeliharaannya cukup rendah (artinya masyarakat dapat membiayai operasi dan pemeliharaannya). Sistem ini tidak memerlukan peralatan canggih untuk pembangunan dan pemeliharaannya,

berbeda sekali dengan sistem sewerage konvensional. Didalam skema baru small bore sewerage sering terlihat keuntungan yang kecil dari segi nilai biaya bila dibandingkan dengan konvensional sewerage. Meskipun distribusi biaya antara biaya investasi dan biaya O & M cukup berbeda terhadap konvensional sewerage dan small bore sewer ini lebih cocok dengan kondisi negara yang sedang berkembang.

Untuk *small bore sewer* biaya investasi adalah lebih rendah, tidak membutuhkan tenaga ahli yang banyak pada tahap konstruksinya serta biaya O & M cukup rendah, bila dibandingkan dengan konvensional sewerage serta kebutuhan tenaga buruh lokal juga cukup intensif dipakai. Semua biaya-biaya ini dapat disediakan dari anggaran daerah.

Dengan demikian small bore sewerage lebih fleksibel dan layak dipakai ditinjau dari seluruh aspek, bila dibandingkan dengan konvensional sewerage. Hanya saja sistem ini memerlukan evaluasi untuk setiap tahap penanganannya.

3.14.2 *Small Bore Sewer (Settled sewer atau Solids free Sewerage)*

Sistem *small bore sewer* adalah sistem penyaluran air buangan yang hanya mengalirkan fase liquid dari air buangan, sedangkan fase solid (*grit atau grease*) dibuang secara periodik dengan sistem lain misalnya dengan truk. (Ir. Askinin Bamayi, M.Eng, 1993).

Sistem *small bore sewer* dirancang untuk menampung air limbah yang berasal dari rumah tangga untuk diolah secara terpusat dan kemudian dibuang keperairan (sungai, danau). Pasir, kerikil, minyak dan benda-benda padat lainnya

yang menyebabkan penyumbatan didalam pipa dipisahkan dari aliran air limbah kedalam tangki interseptor yang dipasang dibagian atau dari setiap sambungan pipa. Penerapan sistem ini terlihat pada negara-negara berkembang seperti Zambia 1960, Nigeria 1965. dan negara maju seperti Australia 1962 dan Amerika 1975. Dimana tidak ada sistem on site disposal atau telah ada sistem pembuangan dengan septic tank atau *aqua privy*.

Tabel 3.11 Keuntungan dari sistem *Small bore* sistem

No.	keuntungan	Keterangan
1.	mengurangi konsumsi air untuk mengalirkan padatan	karena pipa tidak diperlukan untuk membawa benda-benda padat maka tidak diperlukan sejumlah air sebagai alat pengangkut benda-benda padat, dengan demikian tidak sama dengan sistem konvensional pipa biasa.
2.	mengurangi biaya galian	dengan sudah tersaringnya benda-benda pengganggu, maka pipa tidak perlu dirancang khusus untuk menerima aliran kecepatan rendah sebagai upaya pembersihan sendiri. Pengurangan biaya dimungkinkan karena sistem ini dapat mengikuti garis-garis topografi alamiah dibandingkan dengan sistem

		konvensional dan menghindari sumbatan-sumbatan di dalam sistem.
3.	mengurangi biaya material (20–70 %).	Karena sistem small bore sewer sudah dirancang untuk menerima air limbah tanpa adanya benda-benda padat, maka sistem pompa dan bak kontrol dapat berkurang.
4.	Mengurangi biaya pengolahan	penyaringan, pemakaian pasir dan pengendapan awal dengan pengolahan secara kolam anaerob tidak diperlukan lagi, karena hal ini sudah terjadi pada tangki interseptor.
5.	Tidak memerlukan slope yang seragam	Mengikuti bentuk topografi
6.	Tangki intersep maupun septik tank dapat menjadi pengolahan awal	Sedimentasi, anaerobik digestion sampai 80 % removal solid
7.	Mengurangi beban hidrolis	Pada jam-jam puncak

(Sumber : Ir.Askinin Bamayi, M.Eng, 1993).

Salah satu kerugian dari sistem *small bore sewer* adalah keperluan untuk mengangkat dan membuang zat-zat padat (adanya solid akan mengganggu sistem) dari setiap tangki interseptor secara periodik.

Sistem *small bore sewer* menyajikan suatu fasilitas sanitasi yang ekonomis tingkat pelayanannya dapat diperbandingkan dengan sistem konvensional *sewerage*. Hal ini disebabkan biaya konstruksi dan pemeliharaan serta kemampuan berfungsi dengan air, maka *small bore sewer* dapat diterapkan dimana konvensional *sewerage* tidak cocok. Dengan demikian *small bore sewer* juga menawarkan kesempatan untuk memperbaiki sanitasi di daerah yang belum tertata rapi.

Hal ini penting perlu diperhatikan dalam penggunaan sistem ini adalah diperlukan suatu organisasi yang kuat, yang mampu mengawasi sistem dengan efektif. Perhatian khusus harus diberikan untuk mencegah sambungan-sambungan liar terhadap sistem, karena sambungan demikian tidak dilengkapi tangki interseptor, sehingga zat-zat padat akan masuk ke pipa yang mengakibatkan kesulitan-kesulitan operasional yang serius.

Tabel 3.12 Komponen-komponen dari *Sistem small bore sewer*

No.	Komponen	Keterangan
1.	Sambungan rumah (<i>House Connection</i>)	sambungan rumah dibuat pada diri jamban ke inlet tangki interseptor, semua air limbah (kecuali sampah-sampah) akan memasuki sistem pada titik ini. Air lanjutan tidak dimasukan

		kedalam sistem.
2.	Tangki interseptor <i>(interceptor tank)</i>	<p>Tangki interseptor adalah suatu tangki yang kedap air dan dibenamkan di dalam tanah.</p> <p>Dirancang untuk mampu menerima air limbah untuk 12 sampai 24 jam dan menghilangkan benda-benda terapung dan terbenam dari aliran.</p> <p>Perlu diperhitungkan volume tambahan terhadap zat-zat terapung dan terbenam. Zat-zat ini akan diangkat secara periodik melalui lubang yang tersedia. Normalnya septik tank dapat dipakai sebagai tangki interseptor.</p>
3.	Pipa-pipa	<p>Pipa-pipa terbuat dari pipa-pipa PVC dengan diameter minimum 100 mm yang ditanam dengan kedalaman yang cukup untuk mengumpulkan air limbah dari rumah secara gravitasi tidak seperti pipa konvensional, small bore sewer tidak perlu diletakkan pada suatu kemiringan yang seragam.</p>

		<p>Tujuan dari perencanaan dan konstruksi dari small bore sewer adalah memanfaatkan energi maksimum yang dihasilkan dari perbedaan elevasi (ketinggian) ujung bagian atas dan ujung bagian bawah dari pipa jaringan.</p>
4.	Bak kontrol (<i>Manhole</i>)	<p>Bak kontrol dan lubang pembersihan merupakan kelengkapan dari sistem jaringan untuk pemeriksaan dan pembersihan. Dalam beberapa hal lubang pembersih lebih disarankan daripada bak kontrol karena biayanya lebih murah dan dapat ditutup lebih rapat untuk mengurangi infiltrasi dan pasir-pasir yang mungkin masuk melalui dinding dari bak kontrol. Lagi pula lubang ini mudah disembunyikan untuk mencegah terjadinya perubahan-perubahan.</p>
5.	Pipa pelepas udara (<i>Vent</i>)	<p>Pipa harus dilengkapi dengan pipa pelepas udara untuk mempertahankan kondisi bebas alir. Pipa pelepas udara</p>

		<p>di dalam rumah tangga harus diplambing dengan baik, kecuali bila kemiringan berkelok-kelok. Didalam kasus ini vent harus dipasang pada titik tertinggi jalur pipa.</p>
6.	<p>Stasiun pompa (<i>Lift station</i>)</p>	<p>diperlukan bilamana perbedaan elevasi tidak memungkinkan terjadinya aliran gravitasi, stasiun pompa ini bisa terpasang dipermukaan ataupun mencakup daerah layanan keseluruhan. Stasiun pompa rumah merupakan stasiun kecil yang memompa air limbah dari tangki interseptor rumah atau daerah pelayanan terbatas (<i>Cluster</i>) ke sistem perpipaan, sedangkan stasiun pompa utama ditempatkan di jalur pipa yang melayani semua sambungan di dalam satu area pelayanan yang luas (<i>drainage basi</i>).</p>

(Sumber : Ir.Askinin Bamayi, M.Eng, 1993).

Seperti sudah dijelaskan diatas, karakteristik paling penting dari small bore sewer adalah sistem ini dirancang untuk menangani air limbah domestik. Meskipun istilah “ small bore sewer “ sudah diterima secara umum kenyataannya istilah ini memang benar-benar menggunakan pipa-pipa berdiameter kecil, diameter pipa ditentukan berdasarkan perhitungan hidrolika yang tidak dibatasi oleh kondisi-kondisi lainnya dan sistem perpipaan tidak dirancang menurut kaidah-kaidah praktik pipa-pipa sanitasi. Penggambaran sistem yang lebih tepat adalah “ pipa bebas padatan “ (*solid free sewers*), tetapi istilah yang lebih tepat adalah “ efluen yang disalurkan “ (*effluen drains*) seperti sudah meluas dipakai di negara australia.

Tujuan esensial dari sistem ini :

Untuk memindahkan air limbah (dari tangki interseptor) yang tidak dapat lagi diserap secara setempat. Meningkatkan sistem setempat (onsite sistem) seperti jamban tuang siram yang telah mengalami perubahan dalam pemakaian air.

Perumahan dalam kepadatan dan kondisi-kondisi lain yang mempengaruhi terciptanya kesulitan dalam pembuangan air limbah secara setempat (onsite disposal).

Tabel 3.13 Kriteria desain (Australia) Small bore sewer

No.	Small bore sewer	Kriteria desain
1.	Kecepatan aliran	0,46 m/det (d/D : 0,5)
2.	Diameter pipa	100, 150, 200 mm
3.	Slope	1/150, 1/250, 1/300

4.	Cover	1 meter
5.	Manhole	Intersection, tiap 24,5

(Sumber : Anonim, 2001).

3.14.3 Shallow Sewer (Simplified sewerage)

Sistem *shallow sewer* adalah sistem penyaluran air buangan domestik (solid maupun liquid) dengan menggunakan pipa diameter kecil (100 s/d 200 mm) pada flat gradien dan shallow trenches (Ir.Askinin Bamayi, M.Eng, 1993). Karena terletak pada kedalaman yang dangkal biasa diletakan dibelakang rumah atau lokasi yang datar dan bebas dari kesibukan-kesibukan lalu lintas yang padat. Biasanya ditempatkan pada tanah-tanah kosong, baik didaerah yang sudah terbangun dengan perencanaan maupun daerah pemukiman yang belum terencana. Lokasi ini memungkinkan peletakan pipa dengan galian yang dangkal dengan bak kontrol yang kecil sepanjang jalur pipa pada jarak tertentu sehingga meningkatkan kemudahan untuk pemeliharaannya Sistem ini dirancang untuk menerima semua jenis air limbah yakni : feces, air pembilas wc, air dari dapur, kamar mandi, bekas aktivitas cucian untuk dialirkan ketempat pengolahan atau pembuangan. *Shallow sewer* dirancang dengan memanfaatkan efek tekanan untuk pengalirannya dan digelontor secara periodik melalui semua sambungan rumah tangga yang ada dalam suatu blok pelayanan. Sistem ini diterapkan pada negara-negara seperti Brazil 1980, Skandinavia, Pakistan.

Operasional tergantung pada besarnya frekuensi air buangan yang melewati sistem dan tidak tergantung pada jumlah air yang digelontorkan hal ini dilakukan

tidak hanya untuk menjamin operasi yang bebas gangguan, tetapi lebih penting lagi adalah untuk memutus rantai kontaminasi antar rumah. Beberapa rumah (di dalam suatu blok) yang disambungkan pada jaringan yang sama dapat dilakukan dengan beberapa pilihan yaitu :

- a. Disatukan dengan jaringan pengangkut utama (konvensional *sewer*)
- b. Disatukan dalam suatu tangki septik komunal dan dengan small bore sewer dialirkan ke kolam stabilisasi atau instalasi pengolahan lainnya.
- c. Dibuang langsung ke suatu pengolahan air limbah.

Pilihannya terletak pada spesifikasi lokasinya. Kedalaman galian dari jaringan pipa dapat dipertahankan dengan menempatkannya di jalan yang tidak terlalu besar beban lalu lintasnya misalnya jalan setapak.

Bilamana tidak mungkin menghindari beban kendaraan karena jaringan memotong jalan maka jaringan pipa harus dilindungi dengan lapisan penahan semen.

3.14.3.1 Sistem Operasi

pengoperasian *shallow sewer* yang lancar tergantung pada tingkat keseringan pengaliran air limbah di jaringan pipa. Dengan demikian, daerah dengan kepadatan tinggi membantu untuk kelancaran pengoperasiannya. Pada titik awal dari jaringan perpipaan, padatan – padatan limbah akan digelontor bersama dengan terjadinya gelombang secara berturut – turut dan bila ada padatan – padatan tertahan di pipa maka air limbah akan tertahan dibelakangnya yang lama

– kelamaan akan menumpuk yang akhirnya mampu mendorong padatan tersebut mengalir.

Tekanan dari belakang ini mudah terbangun bilamana diameter pipa yang terpasang adalah kecil (100 – 200 mm).

Aliran padatan – padatan ini sepanjang pipa akan mengikuti pola : Tumpukan – mengalir – tumpukan – mengalir dan ini berlanjut sampai pipa dapat mengeringkan daerah layanan.

3.14.3.2 Keuntungan dan kerugian sistem *shallow sewer*

Mengumpulkan air limbah dari suatu pemukiman dengan cara di atas mempunyai keuntungan :

1) Mengurangi kebutuhan air

Karena *shallow sewer* dirancang untuk pengaliran yang sesering mungkin, maka air limbah dari titik atas membantu membawa padatan – padatan ke bagian bawah, dengan demikian jumlah air yang banyak tidak diperlukan untuk membawa padatan – padatan tersebut. Jadi tidak seperti konvensional *sewerage*, *shallow sewer* dapat dipakai tanpa adanya kekhawatiran akan terjadinya kemampatan pada saluran di daerah yang konsumsi air bersihnya rendah.

Sistem ini terbukti berhasil dilaksanakan pada daerah dengan tingkat konsumsi air bersihnya 27 liter/orang/hari.

2) Mengurangi panjangnya jaringan pipa

Karena sambungan rumah yang pendek diperlukan dan jaringan pengumpul hanya perlu di sepanjang jalan, maka total pengurangan panjang jaringan pipa dapat dcaapi. Pengurangan ini bisa mencaapi sampai 50 % dalam suatu tata letak jaringan yang efisien.

Memperlihatkan penurunan panjang jaringan pipa dalam *shallow sewer* bila dibandingkan dengan konvensional *sewer*.

3) Mengurangi biaya galian

Karena kedalaman yang dangkal maka volume galianpun akan berkurang. Dikarenakan penggalian yang tidak terlalu dalam maka sistem ini dapat dipakai pada daerah – daerah padat dan tidak terencana dimana penggalian yang dalam dapat menimbulkan masalah yang serius.

4) Mengurangi biaya material (bahan)

Pipa berdiameter kecil dipakai dalam sistem *shallow sewer* agar padatan – padatan dapat mengalir dengan baik. Tambahan lagi manhole (bak kontrol) yang dalam dan mahal yang biasanya dipakai dalam konvensional *sewer* dapat diganti dengan bak kontrol yang murah.

Dengan memakai diameter pipa yang kecil ini maka tidak diperlukan lagi peralatan mekanik untuk pembersihan dan pemeliharaan yang mungkin belum tersedia di negara berkembang.

5) Mengurangi peralatan pemeliharaan

Akibat tingkat pengaliran air limbah yang tinggi, maka tidak perlu lagi peralatan pemeliharaan yang mahal. Berbeda dengan peralatan yang dibutuhkan untuk konvensional *sewer*.

6) Tingkat sambungan rumah yang tinggi

Dengan tata letak (*lay out*) dan sistem pengoperasian dari *shallow sewer*, maka sambungan rumah (dalam satu blok pemukiman) dan pipa jaringan utama dapat dibangun secara serempak.

Selain dari beberapa keuntungan sistem diatas, sistem ini juga memiliki beberapa kerugian yaitu :

- 1). Waktu pengalirannya lambat
- 2). Kemungkinan tersumbat besar

3.14.3.3 Komponen –Komponen Sistem

Sistem *shallow sewer* terdiri dari beberapa komponen berikut :

a. Sambungan Rumah (*House Connection*)

Seluruh air limbah akan dikumpulkan ke jaringan pengumpul (*common block sewer line*) melalui bak kontrol. WC yang ada (tuang siram dengan perapat air) dihubungkan melalui pipa PVC atau pipa asbestos semen diameter 75 mm ke bak kontrol. Pipa ventilasi dengan diameter yang sama dapat dipasang pada suatu titik sepanjang pipa antara WC sampai bak kontrol. Bila kebutuhan air cukup besar (lebih besar dari 75 lt/orang/hari), disarankan untuk mengalirkan air melalui suatu saringan penangkap pasir/lemak yang bertindak sebagai pengumpul air limbah dan juga bertindak sebagai peralatan pemeliharaan.

b. Bak Kontrol (*Manhole / IC*)

Bak kontrol dipasang secara teratur di sepanjang pipa pengumpul air limbah. Bak kontrol ini dibuat sebagai tempat sambungan rumah dan pelengkap untuk sarana pemeliharaan. Biasanya satu bak kontrol dilengkapi untuk setiap rumah, (atau tergantung rancangan yang ada). Misal : dua atau lebih rumah bisa dilayani oleh satu bak kontrol. Dimensi dari bak sangat bervariasi dengan kedalaman pipa.

c. Jaringan Pengumpul Air Limbah (*Common blok sewer line*)

Jaringan pipa pengumpul air limbah biasanya adalah pipa dengan diameter kecil (minimum 100 mm) clay atau pipa semen yang dipasang dengan kedalaman tertentu. Sehingga cukup mampu untuk menerima air limbah dari seluruh rumah tangga secara gravitasi dan diletakkan secara seragam. Kedalaman minimum invert pipa adalah 0,4 m untuk menghindari kerusakan yang mungkin terjadi, meskipun kedalaman ini dapat dikurangi bila memungkinkan. Penempatan jaringan pengumpul air limbah ini biasanya disesuaikan dengan tata letak pemukiman. Bagi daerah yang sudah tertata letak pemukimannya, bisa dipakai kontur yang ada. Sebaliknya untuk daerah yang belum tertata biasanya tidak dapat dirancang dengan baik, sehingga terpaksa harus disesuaikan dengan kondisi yang ada. Tujuannya adalah menempatkan jaringan dengan betul sehingga mampu menangkap air limbah dari tempat – tempat yang dilayani. Bak kontrol harus diletakkan pada daerah yang terbuka.

d. Jaringan Utama Pengangkut Air Limbah

Jaringan ini biasanya memakai pipa dengan diameter minimum 150 mm, walaupun mungkin dari perhitungan hidraulik dapat memakai pipa berdiameter 100 mm. Jaringan ditempatkan dengan suatu kedalaman tertentu sehingga dapat diselaraskan dengan lokasi. Bila memungkinkan jaringan ini ditempatkan pada sisi jalan yang jauh dari kepadatan lalu lintas, dengan suatu kedalaman yang dapat menjamin aliran berjalan dan tentunya dapat menampung air limbah dari jaringan pengumpul. Bila kedalaman terhadap invert pipa melebihi 0,8 m maka jaringan dapat ditempatkan tanpa perlindungan di sisi jalan utama yang padat. Bila kedalaman pipa invert kurang dari 0,8 m maka pipa harus dilindungi dengan adukan semen pada tempat tertentu, misalnya memotong jalan raya. Bak kontrol dipasang sepanjang pipa pengangkut dengan interval jarak tidak melebihi 40 meter, tetapi bila peralatan pembersih secara mekanik tersedia, maka jarak dapat diperpanjang.

e. Stasiun Pompa

Stasiun pompa perlu dipasang bila jaringan pipa terlalu dalam atau bila diperlukan untuk mengangkut air limbah yang sudah terkumpul ke suatu daerah layanan yang berbeda untuk keperluan pengolahan atau pembuangan. Pemakaian stasiun pompa harus dikurangi sejauh mungkin melalui suatu pengurangan kedalaman yang teliti atau dengan mengolah seluruh air limbah dalam suatu daerah pelayanan yang sama. Stasiun pompa diperlukan hanya

dalam kasus-kasus penting seperti pipa air limbah tidak dapat lagi mengikuti kemiringan yang ada atau daerah terlalu datar.

f. Instalasi Pengolahan

Dalam suatu keadaan-keadaan tertentu, dapat dimungkinkan membuang air limbah ke suatu jaringan konvensional yang ada sehingga dapat diolah dalam suatu instalasi yang sama. Bila ini tidak mungkin maka kolam stabilisasi dapat dipakai sebagai suatu pilihan di negara berkembang.

Jika jumlah rumah yang dilayani relatif kecil maka instalasi berupa tangki septik komunal dapat dipakai dengan infiltrasi effluent.

Tabel 3.14 Kriteria desain sistem *shallow sewer*

No.	Shallow sewer	Kriteria desain
1.	Kecepatan maksimum	0,5 m/detik
2.	Kedalaman aliran	0,2-0,8 D pipa
3.	Diameter pipa	100 m (PVC) untuk 1000 jiwa dengan debit 80 liter.capita.hari
4.	Slope	1/167 minimum
5.	Kedalaman pipa	0,2-0,3 meter

(Sumber: Anonim, 2001)

3.14.3.4 Kriteria Penanganan

Sistem *shallow sewerage* adalah satu – satunya sistem *off site* (dalam keadaan tertentu) lebih murah daripada on site. Ada juga kondisi – kondisi tertentu dimana on site sistem tidak layak secara teknis dan dalam kondisi seperti ini suatu bentuk *off site* sistem mutlak diperlukan. *Shallow sewer* biasanya paling ekonomis dari

seluruh teknologi pembuangan air limbah secara *off site* dan merupakan suatu pilihan yang jelas untuk dipertimbangkan.

Seperti dijelaskan di atas sistem ini tepat untuk dipakai pada kondisi di mana *on site* sistem tidak layak atau terlalu mahal, membuat *shallow sewer* menarik baik secara teknis maupun ekonomis.

Kondisi – kondisi dimaksud adalah :

a). Kepadatan penduduk yang tinggi

Semua pilihan pembuangan limbah setempat memerlukan suatu lahan yang cukup, demikian juga dengan instalasinya. Biasanya tempat untuk ini tersedia di daerah pedesaan dan dengan kepadatan penduduk yang rendah sampai yang sedang di daerah perkotaan.

Namun sejalan dengan kepadatan pemukiman yang meningkat, tempat untuk keperluan itu tidak tersedia dan bilapun tersedia, namun masyarakat berkeberatan karena sistem ini memerlukan penyedotan tinja. Bila teknologi *on site* sistem disposal terbukti tidak layak atau bila kepadatan dari pemukiman menunjukkan bahwa *off site* sistem terbukti cukup efektif dan dari segi ekonomis, maka *off site* disposal teknologi harus dievaluasi secara teknis, pendanaan dan ekonominya.

b). Kondisi tanah yang tidak memungkinkan

Pembuangan tinja dan air limbah non tinja secara setempat banyak tergantung pada kondisi tanah untuk menyerap seluruh air limbah yang ada. Juga diperlukan penggalian untuk menampung tinja.

Dalam kondisi – kondisi yang tidak memungkinkan seperti sekarang, muka air tanah yang tinggi dan rendahnya permeabilitas, maka sistem *on site* jelas tidak layak. Sistem *shallow sewer* menjadi salah satu pilihan untuk mengatasi hal ini.

c). Konsumsi air bersih yang tinggi

Pembuangan air limbah secara setempat (seperti cubluk, jamban tuang siram) hanya menangani tinja. Air limbah non tinja biasanya dibiarkan meresap ke dalam tanah atau melalui lubang resapan. Bilamana kebutuhan air bersih meningkat maka luas bidang resapanpun meningkat. Jadi untuk daerah dengan tingkat kepadatan penduduk tinggi maka hal ini sulit dilakukan. Untuk daerah dengan penduduk berpenghasilan yang rendah, biasanya tidak ada sistem sanitasi sehingga air limbah tenangan di mana – mana, menimbulkan berbagai kesulitan seperti bau, sumber penyakit, pemandangan yang tidak baik.

d). Tingkat sosial budaya yang bervariasi

Sistem shallow sewer dapat dipakai pada tingkat sosial budaya yang beragam. Khususnya bagi masyarakat dengan budaya membersihkan dengan air atau dengan bahan yang lembut.