# PENGENDALIAN PROSES PENGOLAHAN AIR LIMBAH MENGGUNAKAN LUMPUR AKTIF

Oleh

**Hendartini *)**

*Abstrak*

*One of the most effective way to remove the pollutant in waste water is biological treatment. There are several different systems used to get the mikroorganism to do their jobs. Such as : activated sludge, biological filters, and ponds. Activated sludge is the one that widely use in many plants over the world. To have the best result we have to know how to control the mikroorganism's life that we can get from the experience.*

## I. Pendahuluan

Pengolahan air limbah secara biologi merupakan proses pengolahan tahap kedua (secondary treatment) dari rangkaian proses pengolahan air limbah secara keseluruhan. Pengolahan secara biologi merupakan cara pengolahan yang paling murah dengan penurunan kadar polutan mencapai 85 %, setelah melalui tahap pengendapan pada pengolahan pendahuluan (primary treatment). Ada beberapa system yang berbeda untuk membuat mikroorganisme berfungsi, yaitu:

1. Lumpur aktif (Activated Sludge)
2. Filter bioligi (Biological Filter)
3. Kolam aerasi (Ponds)

Walaupun ketiga sistem tersebut terlihat berbeda namun prinsip dasar dari ketiganya adalah sama, yaitu semua mikroorganisme menggunakan bahan organik tersuspensi dan terapung ( bahan organik yang tidak terendapkan) sebagai makanan; sebagian besar dari bahan organik tersebut diubah menjadi mikroorganisme (reproduksi) dan sebagian kecil dikonversikan menjadi $CO_2$. Selanjutnya mikroorganisme - mikroorganisme tersebut mengendap sebagai lumpur, yang dapat digunakan sebagai lumpur aktif, dan sebagian lainnya dapat dibuang setelah dilakukan proses fisika (solidifikasi) (3). Dari ketiga sistem di atas yang paling banyak digunakan adalah Lumpur Aktif. Untuk itu dalam tulisan ini akan diuraikan mengenai pengendalian proses pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif.

*) *Staf Peneliti*
*Balai Pengembangan Pupuk dan Petrokimia*
*Balai Besar Industri Kimia*

## II. Kehidupan Mikroorganisme

Berdasarkan kebutuhan oksigen, mikroorganisme dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu: (7)

1. Aerobik : mikroorganisme yang hanya dapat tubuh dengan adanya oksigen.
2. Anaerobik : mikroorganisme yang hanya dapat tumbuh tanpa adanya oksigen
3. Fakultatif : mikroorganisme yang dapat tumbuh dalam kedua kondisi.

Untuk memperoleh hasil pengolahan yang optimal, harus diketahui dengan baik cara

pengendalian kehidupan mikroorganisme sesuai dengan jenis dan sistem yang digunakan. Mikroorganisme yang digunakan dalam lumpur aktif adalah jenis aerobik. Mikroorganisme ini mendapatkan energi untuk memperbanyak diri dengan memecah molekul-molekul bahan organik kompleks yang terdapat di dalam air limbah. Seperti halnya manusia, mikroorganisme tidak bisa berfungsi/bekerja dengan baik bila tidak mendapatkan suplai yang diperlukan atau bila kondisinya tidak baik. Sesuai dengan konsep dinamika populasi, maka bila kondisi baik dan makanan yang tersedia mencukupi, mikroorganisme akan berkembang biak dengan cepat, dan mengendap sebagai lumpur yang harus dibuang. Bila mikroorganisme tumbuh semakin banyak dan jumlahnya lebih banyak dari pada suplai makanannya maka pertumbuhannya akan terhambat; sebagian besar mikroorganisme tersebut tetap mengguanakan oksigen untuk metabolisme makanan yang telah tersimpan di dalam sel-selnya; kondisi ini disebut respirasi di dalam sel (Endogenous Respiration) (7). Hal inilah yang menjadi sebab bila dalam proses pengolahan limbah, perbandingan antara makanan dan mikroorganisme ( F/M) rendah, dan waktu tinggal rata-rata (MCRT) panjang, maka oksigen yang digunakan lebih banyak sedangkan lumpur yang dihasilkan sedikit untuk jumlah makanan yang sama (4).

Keterangan :

F/M = Food/Microorganism

MCRT = Mean Cell Residence Time

Masing-masing mikroorganisme mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam hal beradaptasi terhadap lingkungannya. Penelitian menunjukkan bahwa Mikroorganisme yang mempunyai kemampuan mengendap rendah dan rendah dan mengembang (bulking) lebih mampu mendapatkan oksigen; hal ini disebabkan karena mikroorganisme tersebut tumbuh membentuk rantai filamen yang panjang dan terpisah dari gumpalan partikel yang lain. Bila DO (Disolved Oxygen) di dalam tangki aerasi sangat rendah, maka mikroorganisme tersebut dapat lebih bertahan dari pada jenis yang tidak berfilamen (non-filamentous organism). (4)

## III. Model Pengolahan Air Limbah dengan Lumpur Aktif (4,5,6)

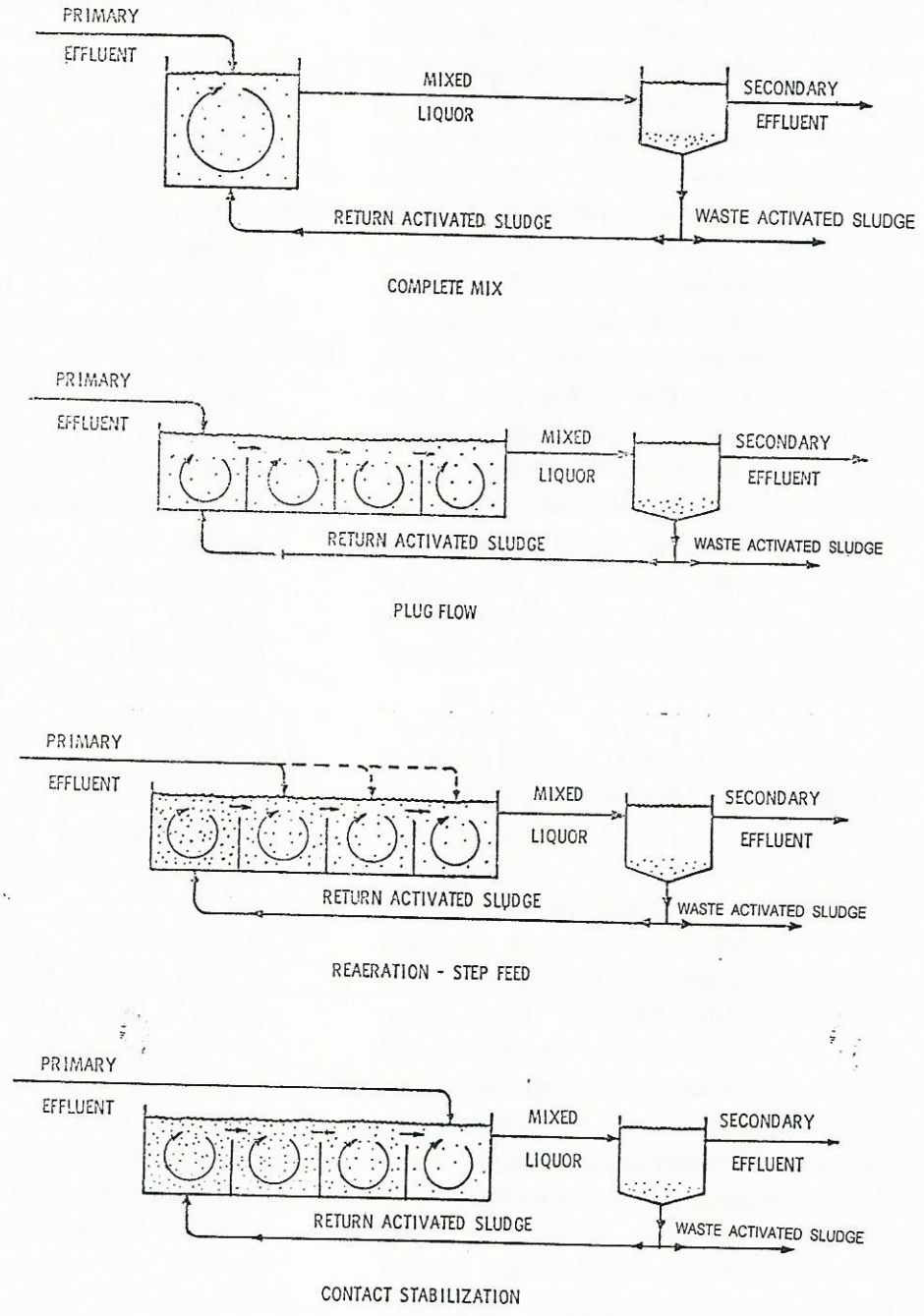
Berbagai ragam model pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif telah diterapkan di masing-masing industri dengan desain tangki aerasi dan penjernih (clarifier) yang berbeda-beda, tergantung pada letak pencampuran antara limbah yang masuk, biasanya *primary effluent* sebagai makanan dan mikroorganisme (lumpur aktif). Pada gambar 1 dapat dilihat beberapa model pengolahan limbah dengan lumpur aktif yang banyak diterapkan di berbagai industri, yaitu :

1. Pencampuran total (complete mix)
2. Tangki aerasi persegi panjang ( plug flow)
3. Reaerasi (rearation)
4. Kontak stabilisasi (contact stabilization)

----------→ gambar 1.

Keuntungan dan kendala dari masing-masing model dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pada sistem **Pencampuran Total (complete mix)**, keduanya makanan (air limbah) dan mikroorganisme (lumpur aktif) masuk ke dalam satu




Gambar 1. Model Pengolahan Air Limbah dengan Lumpur Aktif

tangki/bak besar, yang diharapkan dapat bercampur dengan baik. Masing-masing mikroorganisme mendapat suplai makan-an dan oksigen yang merata. Keuntungan dari sistem ini pengendalian DO lebih mudah karena hanya terdapat satu bak. Untuk industri yang lebih besar dapat menggunakan beberapa tangki/bak secara paralel. Adapun kendalanya adalah selalu terdapat BOD yang tidak termakan oleh mikroorganisme mengalir ke bak penjernih (clarifier). Hal ini dapat diatasi dengan perhitungan yang cermat saat membuat desain, yaitu dengan membuat estimasi dari laju konsumsi makanan (food consumption rate), beban (loading), dan aliran (flow). Kendala lainnya adalah kurang fleksibel dalam hal perubahan operasi apabila terjadi masalah.

2. Sistem **Tangki aerasi persegi panjang (Plug Flow)** banyak digunakan di industri-industri yang masih konvensional. Mikroorganisme dan makanan dimasukkan ke dalam bak aerasi yang terdepan, dan bersama-sama mengalir melalui beberapa fase hingga mencapai bak penjernih. Masalah BOD yang tidak termakan/terolah, dengan model ini dapat teratasi, sebab terjadinya kontak yang lama antara mikroorganisme dengan makanannya. Sebagian besar dari kebutuhan oksigen dipenuhi pada fase pertama dan kedua, sehingga energi akan terbuang bila udara dengan jumlah yang sama disuplai juga pada fase-fase berikutnya. Untuk itu diperlukan pengendalian DO yang cermat dengan memasang penunjuk DO ( DO - probe) dan kran pengendali aliran udara pada masing-masing fase.

3. **Reaerasi** terjadi bila air limbah (primary effluent) dialirkan ke fase II, sedangkan lumpur aktif dialirkan dari bak penjernih ke fase I; sehingga mikroorganisme disini hanya mendapatkan udara namun tidak mendapatkan makanan. Hal ini membuat mikroorganisme kelaparan dan terjadi kondisi *endogenous respiration*, menggunakan selnya sendiri sebagai makanan. Pada sistem ini jumlah lumpur yang terjadi lebih rendah, namun konsumsi oksigen lebih tinggi. Masalah BOD yang tidak terolah dapat dihindari dengan tidak mengalirkan air limbah pada fase terakhir sebelum bak penjernih. Modifikasi dari sistem reaerasi adalah **Reaerasi dengan Umpan Bertahap** (reaeration – step feed), yaitu dengan membagi aliran air limbah pada beberapa fase. Di sini kebutuhan oksigen terbagi rata sehingga udara dapat didistribusikan dengan effisien.

4. Sistem **Kontak Stabilisasi** hampir sama dengan reaerasi namun pada sistem ini fase I, II, dan bahkan ke III, tidak dialiri makanan sehingga jumlah *endogenous respiration* semakin besar. Semua makanan masuk pada fase terakhir, sehingga mikroorganisme harus bekerja cepat. Keuntungan dari sistem ini adalah sebagian besar mikroorganisme berdiam di fase-fase awal reaerasi, sehingga bila air limbah mengandung racun maka hanya sebagian kecil mikroorganisme yang mati, sedangkan sebagian besar lainnya masih sehat dan

lapar dan siap menyantap makanan (air limbah).

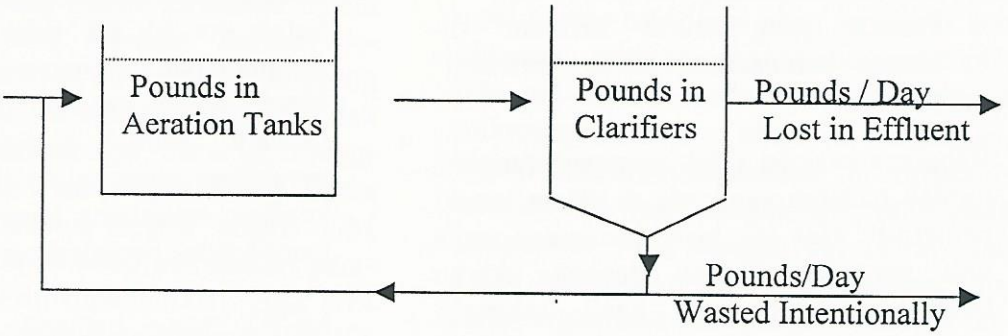
**IV. Hal-hal yang perlu diperhatikan.**

Selain model, hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengendalian pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif adalah sebagai berikut:

1. Waktu tinggal rata-rata (Mean Cell Residence Time).

Waktu tinggal rata-rata merupakan parameter pengendali yang paling simpel dan dan efektif pada proses lumpur aktif. Istilah lain dari MCRT yang sering digunakan dalam pengolahan limbah adalah waktu retensi (Solid Retention Time). Untuk menghitung waktu tinggal rata-rata adalah dengan membagi jumlah/berat padatan di keseluruhan system dengan jumlah/ berat padatan yang keluar/ meninggalkan system setiap harinya. Untuk itu kita harus mengetahui aliran padatan/ lumpur dalam proses (gambar 2).

Dari gambar 2 dapat dituliskan rumus sebagai berikut :




**Gambar 2. Diagram alir MCRT**

Keterangan : Wasted Intentionally Pounds Day = Jumlah padatan yang dibuang perhari
: Lost In effluent (Pounds/Day) = Jumlah padatan yang terikut dalam effluent per hari.

$$\text{Waktu tinggal rata-rata} = \frac{\text{Jumlah padatan di dalam tangki aerasi dan tangki penjernih}}{\text{Jumlah padata yang dibuang dan yang terikut "effluent" perhari}}$$

- Padatan di dalam tangki aerasi dihitung berdasarkan volume tangki dan jumlah lumpur aktif (MLSS : Mixed Liquor Suspended Solid)
- Padatan di dalam tangki penjernih (clarifier) bisa dihitung dengan menggunakan "core sample" yang berupa tabung plastik, dan dihitung jumlah padatan terlarutnya (TSS) kemudian dikalikan dengan volume tangki penjernih. Atau bisa juga dengan menggunakan alat pengukur tebal "blanket" ; hitung volume blanket, kemudian kalikan dengan rata-rata MLSS dan TSS pada lumpur aktif yang di "recicle" (RAS-Return Activated Sludge).
- Padatan yang dibuang dihitung berdasarkan aliran lumpur aktif yang dibuang (WAS–Waste Activated Sludge dan jumlah padatan terlarut (TSS).
- Padatan yang terikut "effluent" dihitung berdasarkan aliran "effluent" dan TSS.

Beberapa praktisi tidak memperhitungkan jumlah padatan yang ada di dalam tangki penjernih. Hal ini bisa diterapkan pada unit pengolah limbah dengan ukuran tangki penjernih yang kecil, sehingga jumlah padatan dalam tangki penjernih dapat diabaikan. MCRT mengatakan kepada kita beberapa hari rata-rata partikel padatan atau mikroorganisme berada dalam unit pengolah limbah. Di dalam satu sistem, setengah bagian dari padatan adalah lebih baru/muda dan setengah bagian lainnya lebih lama/tua. Sehingga dapat dikatakan (misalnya) pada MCRT 3 hari, kita membuang 1/3 bagian dari lumpur setiap harinya. (1, 4, 6).

Dan Cortinovis (4) memberikan catatan mengenai beberapa hal penting yang yang harus diingat mengenai MCRT, yaitu :

- MCTR tidak bis ditentukan secara pasti, karena hal ini sangat tergantung dari kehidupan mikroorganisme. Mikroorganisme itu sendiri yang akan menentukan berapa lama ia akan tinggal di dalam sistem. Kita dapat menentukannya dengan mengefaluasi kualitas effluent dan beberapa parameter lain, yaitu : stabilitas proses, kemampuan pengendapan lumpur (sludge settleability), nitrifikasi, produksi padatan, dan konsumsi oksigen. Kemudian kita coba menentukan MCRT yang terbaik, dan diamati apakah mikroorganis-me tetap bekerja baik. Mikroorganisme bisa merubah cara hidupnya dengan adanya perubahan-perubahan kondisi yang dapat mempengaruhi kehidupannya.
- Selain itu MCRT tidak bisa dihitung dengan tepat, karena sistem tidak pernah berada dalam keadaan 'kesetimbangan' (Steady State). Karena perubahan-perubahan yang selalu terjadi sehingga keadaan setimbang hanya bisa didekati namun tidak pernah dicapai.

- MCRT yang panjang maupun yang pendek mempunyai keuntungan dan kerugian masing-masing. Bila MCRT panjang, produksi lumpur lebih rendah sebab makanannya kurang, sehingga mikroorganisme menggunakan makanan yang telah tersimpan. Bila MCRT pendek, konsumsi oksigen rendah, tetapi jumlah lumpur yang harus dibuang lebih banyak. Bila MCRT terlalu pendek atau terlalu panjang maka akan menaikkan resiko terjadinya penyimpangan dari proses yang kita inginkan.

**2. Perbandingan antara Makanan dan Mikroorganisme (Food to Microorga-nism Ratio).**

Perbandingan antara makanan dan mikro-organisme (F/M) menunjukkan perban-dingan antara jumlah makanan yang masuk ke dalam sistem dengan jumlah mikroorganisme yang ada. Makanan diukur dalam satuan berat per hari dari BOD atau COD di dalam influent, sedang-kan mikroorganisme sebagai padatan terlarut yang dapat menguap (Volatile Suspended Solid) di dalam tangki aerasi. Angka perbandingan ini berbanding terbalik terhadap MCRT. Bila kita me-ngurangi jumlah mikroorganisme dengan jalan memperbesar buangan lumpur, maka MCRT akan turun dan sebaliknya F/M akan naik. Tidak seperti MCRT, F/M dapat berubah dengan cepat, tergantung pada limbah yang masuk ke dalam sistem dan lumpur yang dibuang. Bahkan pe-rubahan angka F/M ini dapat berlangsung dari jam ke jam, sehingga angka ini tidak dapat digunakan sebagai dasar perhitung-an jumlah padatan/lumpur yang harus dibuang. Walaupun begitu angka F/M rata-rata hariannya tetap merupakan para-meter yang perlu diperhatikan. Bila F/M sangat tinggi maka kemungkinan MCRT targetnya terlalu rendah. F/M tinggi akan menyebabkan tumbuhnya organisme yang berfilamen, yang akan menurunkan ke-mampuan pengendapan lumpur.

**3. Nitrifikasi dan Denitrifikasi.**

Nitrifikasi adalah salah satu hal terpenting yang harus diperhatikan dalam pengolahan limbah secara biologi. Beberapa unit pengolah limbah menghendaki terjadinya nitrifikasi, beberapa lainnya tidak meng-hendaki. Nitrifikasi terjadi bila di dalam unit pengolah limbah terdapat 2 (dua) macam bakteri, yaitu *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* yang menggunakan amoniak sebagai sumber energi. Amoniak dalam bentuk yang tidak pengolah limbah terdapat 2 (dua) macam bakteri, yaitu *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* yang menggunakan ammoniak sebagai sumber energi. Amoniak dalam bentuk yang tidak terionisasi bersifat racun terhadap ikan dan biota air lainnya. Untuk itu perlu adanya nitrifikasi, untuk merubah amo-niak menjadi nitrat maupun nitrit. (2,3) Namun nitrifikasi sendiri dapat menye-babkan beberapa masalah. Pada proses nitrifikasi mikroorganisme memerlukan oksigen untuk mengkonversi amoniak menjadi nitrit. Sehingga kebutuhan oksigen akan meningkat. Selain itu pada awal proses nitrifikasi akan terbentuk ion hidrogen, sehingga akan menurunkan pH; bila pH terlalu rendah maka kehidupan mikroorganisme akan terganggu. Kehidupan mikroorganisme ini memerlu-kan kondisi yang sangat baik yaitu pada temperatur yang hangat, pH netral, dan DO minimal2 mg/l; disamping itu mikroorganisme ini sangat sensitif ter-hadap racun. Setelah proses nitrifikasi maka akan diikuti dengan proses denitrifikasi. Beberapa bakteri fakultatif akan menggunakan oksigen yang terikat pada nitrat untuk respirasi, dan akan terbentuk gas nitrogen. Bila denitrifikasi terjadi di bagian dasar tangki pen-jernih, maka akan terjadi gelembung-gelembung nitrogen yang bergerak naik, dan menyebakan gumpalan-gumpalan lumpur mengambang ke permukaan.

**4. Pengembangan dan busa (Bulking and Foaming).**

Pengembangan (bulking) merupakan masalah dalam unit pengolah limbah. Hal ini diawali dengan pengendapan yang lambat dan kondisi lumpur aktif yang kurang kompak. Penyebab utamanya adalah adanya mikroorganisme yang berfilamen. Mikroorganisme ini akan tumbuh pada kondisi DO rendah dan F/M tinggi. Kecenderungan terjadinya bulking dapat diketahui dengan menghitung indeks volume lumpur (Sludge Volume Index – SVI),yaitu dengan cara mengambil air limbah di dalam unit pengolah (mixed liquor), dituang ke dalam gelas piala, dan diamati pengendapannya selama 30 menit, kemudian dibagi dengan MLSS. Indeks ini bisa dijadikan sebagai parameter pengendalian bulking.

## V. Kesimpulan

- Pengolahan limbah dengan lumpur aktif dapat merupakan cara yang paling murah bila parameter-parameter pengendali diterapkan dengan baik. Kondisi dari parameter-parameter ini diperoleh berdasarkan pengalaman dari masing-masing unit pengolah limbah, karena kehidupan mikroorganisme sangat unik, berbeda untuk masing-masing tempat dimana mereka tumbuh.
- Teori perhitungan MCRT hanya bisa digunakan sebagai estimasi. Kondisi kerja mikroorganisme pada suatu MCRT tertentu tergantung pada beban limbah yang memasuki sistem (influent loading), suhu, pH, DO, dan faktor-faktor lainnya. Pertumbuhan dan reproduksi mikroorganisme menggunakan reaksi kimia, sehingga dengan kenaikan suhu maka akan mempercepat pertumbuhannya. Oleh karena itu pada daerah yang bersuhu lebih rendah MCRT yang diperlukan lebih panjang.
- F/M mudah sekali berubah, sehingga angka ini tidak dapat digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah padatan/lumpur yang harus dibuang. Cara terbaik untuk mengendalikan jumlah padatan di dalam unit pengolah limbah adalah dengan mengatur buangan lumpur untuk mencapai MCRT terbaik yang telah ditetapkan.
- F/M yang terlampau tinggi akan menyebabkan bulking. Hal ini tidak dikehendaki di dalam sistem

## VI. Daftar Pustaka


1. Anonimous, U.S. EPA Process Design Manuals of Sludge Treatmen and Disposal,1985.
2. Anonimous, U.S. EPA Process Design Manuals of Nitrogen Control,1985.
3. Clair N. Sawyer and Perry L. McCarty, Chemistry for Environmental Engineering, McGraw – Hill, 1981
4. Dan Cortinovis, Controlling Waste Water Treatment Processes, Ridgeline Press, 1984.
5. Metcalf & Eddy, George Tchobanoglous, Waste Water Engineering, Colection and Pumping of Waste Water, McGraw – Hill,1989.
6. Metcalf & Eddy, George Tchobanoglous, Waste Water Engineering, Treatment/Disposal/Reuse, McGraw – Hill,1991.
7. Ralph Mitchell, Introduction to Environmental Microbiology,Prentice-Hall, 1980.


-----oooooOOOOOoooooo-----