

Bioremediasi Cacing Merah (*Tubifex tubifex*) dalam Pengolahan Air limbah

Achmad Taufik¹ dan Nadyawatie Warganegara¹

¹Jurusan Kesehatan Lingkungan
E-mail : achmadtaufik123@yahoo.com

ABSTRAK : Penelitian ini mencoba memanfaatkan cacing merah (*tubifex tubifex*) dalam pengolahan air limbah terutama air limbah domestik dan air limbah pemotongan hewan (Rumah Potong Hewan = RPH) yang mempunyai kandungan bahan organik tinggi Karena cacing merah (*Tubifex tubifex*) merupakan makroinvertebrata paling dominan dan luas penyebarannya yang keberadaannya menunjukkan lokasi tersebut sudah tercemar dengan bahan organik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) dalam pengolahan air limbah, mengetahui efek bioremediasi pada masing-masing jenis air limbah yaitu limbah domestik dan limbah RPH. Hasil penelitian menunjukkan efek bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) terhadap air limbah domestik sampai dengan hari ke - 3 adalah pH awal : 7,2 turun menjadi 6,9 ; BOD awal : 19,3 mg/l turun menjadi 15,1 mg/l ; N Total awal : 76,6 mg/l turun menjadi 26,1 mg/l ; detergen awal : 0,76 mg/l turun menjadi 0,49 mg/l ; PV awal : 13,35 mg/l menjadi 11,88 mg/l dan TTS awal : 135 mg/l naik menjadi 149 mg/l . Sedangkan efek bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) terhadap air limbah rumah potong hewan sampai dengan hari ke - 3 adalah pH awal : 6,88 naik menjadi 7,37 ; BOD awal : 25,1 mg/l turun menjadi 20,1 mg/l ; N Total awal : 74,2 mg/l turun menjadi 16,6 mg/l ; detergen awal : 0,57 mg/l turun menjadi 0,43 mg/l ; PV awal : 134,57 mg/l menjadi 114,96 mg/l dan TTS awal : 145 mg/l naik menjadi 149 mg/l. Adapun nilai variasi parameter yang diperoleh selama waktu pengamatan 6 – 8 hari selain akibat adanya aktifitas cacing merah sebagian besar dipengaruhi oleh aktivitas self furification dari air limbah tersebut karena sebagian besar mengandung bakteri – bakteri sehingga terjadi dekomposisi secara alamiah. Perlu penelitian lebih lanjut tentang penggunaan cacing merah (*Tubifex tubifex*) untuk mengolah air limbah sesuai dengan daur hidup dan habitatnya yang lebih spesifik sehingga dapat diperoleh lama waktu efektif penggunaannya.

Kata Kunci : Bioremediasi, Cacing merah, air limbah

ABSTRACT : This study tried to use red worms (*tubifex tubifex*) in wastewater treatment mainly domestic wastewater and slaughterhouse wastewater (Slaughterhouse = RPH) that have a high content of organic matter Because red worms (*Tubifex tubifex*) is the most dominant macroinvertebrate and widely spread whose presence indicates that location was contaminated with organic materials. The purpose of this study was to determine the effects of bioremediation red worms (*Tubifex tubifex*) in wastewater treatment, bioremediation to determine the effects of each type of waste is domestic waste water and sewage RPH. The results showed the effects of bioremediation of red worms (*Tubifex tubifex*) against domestic waste water up to day - 3 is the initial pH: 7.2 down to 6.9; initial BOD: 19.3 mg / l down to 15.1 mg / l Total initial N: 76.6 mg / l decreased to 26.1 mg / l; detergent initial: 0.76 mg / l down to 0.49 mg / l; initial PV: 13.35 mg / l menjadi 11 , 88 mg / l and initial TTS: 135 mg / l up to 149 mg / l. While the effects of bioremediation red worms (*Tubifex tubifex*) for wastewater abattoir until the day - 3 is the initial pH: 6.88 up to 7.37; initial BOD: 25.1 mg / l down to 20.1 mg / l Total initial N: 74.2 mg / l down to 16.6 mg / l; detergent initial: 0.57 mg / l down to 0.43 mg / l; initial PV: 134.57 mg / l to 114 , 96 mg / l and initial TTS: 145 mg / l up to 149 mg / l. The variation of the parameter values obtained during the observation time of 6-8 days in addition due to the activity of red worms is largely influenced by the activity of self furification of the waste water because most contain bacteria - bacteria that occur naturally decomposition. Need more research on the use of red worms (*Tubifex tubifex*) to treat wastewater in accordance with the life cycle and habitat of more specific so as to obtain effective duration use.

Keywords: Bioremedation, red worms, wastewater

PENDAHULUAN

Cacing merah (*Tubifex tubifex*) yang sebelumnya sangat jarang dijumpai di dasar Kali Surabaya, sejak tahun 1990 mulai mengalami peningkatan jumlah populasi yang mengikuti pola peningkatan dari hilir kearah hulu. Booming populasi ini dipicu oleh peningkatan beban limbah organik yang

diterima oleh Kali Surabaya yang berasal dari industri kertas, industri penyedap rasa, industri minyak sawit dan limbah domestik., kondisi ini mengancam keanekaragaman jenis biota lainnya yang tidak memiliki kemampuan adaptasi terhadap bahan organik seperti Kerang Lumut (*Onodonta woodiana*), Remis (*Corbicula javanica*) dan Kuthuk Hitam (*Clarias batrachus*) ikan khas Kali Surabaya yang bernilai ekonomis

(Riset yang dilakukan pada Mei – September 2001 oleh Divisi Program Kerja Pemulihan Keanekaragaman Hayati Kali Surabaya).¹

Tubifex tubifex disebut juga cacing lumpur, cacing ini memperoleh makanan dengan mencerna mikroorganisme secara spesifik dan menyerap molekul melalui permukaan kulit tubuh cacing. Cacing ini dapat bertahan hidup tanpa oksigen selama berbulan-bulan dan bertahan pada tempat yang banyak mengandung zat organik tinggi yang hampir tidak ada spesies lain yang dapat hidup.²

Penelitian ini mencoba memanfaatkan cacing merah (*Tubifex tubifex*) dalam pengolahan air limbah terutama air limbah domestik dan air limbah pemotongan hewan (Rumah Pemotongan Hewan = RPH) yang mempunyai kandungan bahan organik tinggi karena cacing merah (*Tubifex tubifex*) merupakan makroinvertebrata paling dominan dan paling luas penyebarannya yang keberadaannya menunjukkan lokasi tersebut sudah tercemar dengan bahan organik.³

Bioremediasi adalah proses secara biologis yang dilakukan oleh cacing merah (*Tubifex tubifex*) terhadap parameter – parameter yang diamati yaitu : pH, BOD, N Total, deterjen, Permanganat value dan Total Suspended Solid.⁴

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek bioremediasi cacing merah (*tubifex tubifex*) dalam pengolahan air limbah, mengetahui efek bioremediasi pada masing – masing jenis air limbah yaitu limbah domestik dan limbah RPH.

METODE

Rancangan dalam penelitian ini eksperimental dengan model rancangan eksperimental ulang. Adapun desain rancangan penelitian pretest – post test with control group desain Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah domestik dan air limbah rumah potong hewan yang representative dari RPH yang berada di Jln. Kopo Cirangrang. Cacing merah (*Tubifex tubifex*) yang digunakan dalam penelitian yang diambil secara representative dari tempat pembiakan.

Jumlah sampel yang dibutuhkan sesuai dengan volume kotak yang akan terisi air limbah yaitu 23 cm x 38 cm x 20 cm = 17480 cm³ atau 17,5 liter maka untuk 4 perlakuan dibutuhkan 35 liter untuk sampel air limbah domestik dan 35 liter untuk sampel limbah RPH.

Prosedur Kerja

Tahap persiapan, dilakukan pembuatan alat/ tempat perlakuan yang terbuat dari kaca berupa kotak persegi panjang dengan ukuran panjang 23 cm, lebar 38 cm, dan tinggi 26 cm . alat ini dibuat sebanyak 4 buah 2 untuk perlakuan dan 2 untuk kontrol. Mempersiapkan cacing merah (*Tubifex tubifex*) yang akan digunakan dalam penelitian. Cacing ini diperoleh dari tempat pembiakan yang representatif. Selanjutnya mempersiapkan perlengkapan lainnya berupa tempat penampungan limbah sebelum dan sesudah perlakuan sistem perpipaan yang menunjang.

Tahap pelaksanaan, melakukan pengambilan sampel air limbah domestik Dan air limbah rumah potong hewan yang representatif. Melakukan proses penyesuaian diri (adaptasi) bagi cacing merah yang di gunakan dalam penelitian dengan cara mengamati selama 3 – 8 hari dalam media percobaan. Melakukan pengukuran parameter untuk setiap sampel sebelum perlakuan :pH, BOD, N Total, deterjen, PV, dan TSS. Melakukan proses bioremediasi dengan menggunakan cacing (*Tubifex tubifex*) dengan memasukkan sampel air limbah pada masing masing alat. Perlakuan di amati selama 3 hari, 6 hari dan 8 hari. Pengukuran kembali parameter untuk setiap sampel setelah 3 hari, 6 hari dan 8 hari perlakuan.

Tahap akhir , mengumpulkan data hasil pengukuran parameter untuk setiap sampel. Menganalisis data hasil pengukuran parameter untuk setiap sampel sebelum dan sesudah perlakuan Menarik kesimpulan dan menyusun laporan hasil penelitian

Pengolahan Data

Data – data yang diperoleh dari hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel. Untuk mengetahui efek bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) terhadap pengolahan air limbah maka data diolah dan dianalisa dengan cara mengamati terhadap perubahan (kenaikan atau penurunan) parameter pH, BOD, N Total, deterjen, PV dan TSS.

HASIL

Penelitian dilakukan dengan waktu pengamatan terhadap parameter selama 3 hari, 6 hari dan 8 hari. Penggunaan *Tubifex tubifex* sebagai pengolah air limbah hanya dapat diamati aktivitasnya hanya sampai hari ke-3, karena pada pengamatan hari ke-6 semua cacing telah mati. Namun demikian peneliti

melakukan pengamatan terhadap parameter sesuai dengan waktu pengamatan yang telah

ditentukan, untuk lebih jelasnya dapat diamati pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Karakteristik Sampel Air Limbah Domestik Kontrol dan Perlakuan Sebelum dan Sesudah Waktu Pengamatan

Parameter	Sebelum	Sesudah (hari)		
		3	6	8
Sampel Air Limbah Domestik Kontrol				
pH	7,2	7,2	7,07	7,01
BOD (mg/l)	19,3	18,9	18,7	17,5
N Total (mg/l) (mg/l)	76,6	27,2	19,3	17,1
Detergen (mg/l)	0,76	0,71	0,69	0,60
PV (mg/l)	13,35	12,62	11,31	11,17
TSS (mg/l)	135	130	123	116
Sampel Air Limbah Domestik Perlakuan				
pH	7,2	6,9	7,19	7,06
BOD (mg/l)	19,3	15,1	11,3	7,1
N Total (mg/l) (mg/l)	76,6	26,1	13,7	16,1
Detergen (mg/l)	0,76	0,49	0,27	0,13
PV (mg/l)	13,35	11,88	9,71	8,91
TSS (mg/l)	135	149	151	161

Tabel 2. Karakteristik Sampel Air Limbah RPH Kontrol dan Perlakuan Sebelum dan Sesudah Waktu Pengamatan

Parameter	Sebelum	Sesudah (hari)		
		3	6	8
Sampel Air Limbah RPH Kontrol				
pH	6,88	7,61	7,79	7,71
BOD (mg/l)	25,1	24,5	24,2	33,1
N Total (mg/l) (mg/l)	74,2	60,2	59	49,9
Detergen (mg/l)	0,57	0,56	0,51	0,50
PV (mg/l)	134,57	123,74	121,75	120,51
TSS (mg/l)	145	140	137	139
Sampel Air Limbah RPH Perlakuan				
pH	6,88	7,37	7,9	7,81
BOD (mg/l)	25,1	20,1	17,2	13,3
N Total (mg/l) (mg/l)	74,2	16,6	15,7	12,6
Detergen (mg/l)	0,57	0,43	0,31	0,17
PV (mg/l)	134,57	114,96	110,39	100,3
TSS (mg/l)	145	149	151	169

Efek bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) terhadap air limbah domestik sampai dengan hari ke-3 sebagai berikut : pH awal : 7,2 turun menjadi 6,9 ; BOD awal : 19,3 mg/l turun menjadi 15,1 mg/l ; N Total awal : 76,6 mg/l turun menjadi 26,1 mg/l ; Detergen awal : 0,76 mg/l turun menjadi 0,49 mg/l ; PV awal : 13,35 mg/l menjadi 11,88 mg/l ; TSS awal : 135 mg/l menjadi 149 mg/l

Sedangkan efek bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) terhadap air limbah rumah potong hewan sampai dengan hari ke-3 sebagai berikut : pH awal : 6,88 naik menjadi 7,37 ; BOD awal : 25,1 mg/l turun menjadi 20,1 mg/l ; N Total awal : 74,2 mg/l turun menjadi 16,6 mg/l ; Detergen awal : 0,57 mg/l turun menjadi 0,43 mg/l ; PV awal : 134,57 mg/l menjadi 114,96 mg/l ; TSS awal : 145 mg/l naik menjadi 149 mg/l

Sedangkan efek bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) terhadap air limbah baik air limbah domestik maupun RPH untuk waktu pengamatan hari ke - 6 sampai hari ke - 8 tidak dapat dianalisa karena pada pengamatan terjadi kematian cacing sehingga proses yang terjadi tidak diakibatkan oleh bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) tetapi oleh kemampuan self purification dari limbah tersebut untuk menguraikan zat-zat organik yang terkandung didalamnya karena ada mikroorganisme yang ada.

BAHASAN

pH

Pada pengamatan terhadap pH sampel air limbah domestik menunjukkan 7,2 angka selanjutnya bervariasi pada control dan perlakuan sesuai dengan waktu detensi 3 hari, 6 hari dan 8 hari. Untuk control pH berkisar antara 7,01 - 7,2, untuk perlakuan antara 6,9 - 7,2. Hal ini menunjukkan selama proses batch baik pada control maupun perlakuan terjadi fluktuasi pH meski tidak begitu signifikan karena angka menunjukkan pH normal (6,8 - 7,2). Pada pengamatan 3 hari dimana cacing merah masih aktif terlihat jelas pada perlakuan pH menunjukkan 6,9 yaitu menurun dari semula 7,2 hal ini menunjukkan perlakuan dengan menggunakan cacing dapat mempengaruhi nilai pH, sedangkan pada hari ke - 6 dan ke - 8 terjadi peningkatan yaitu 7,19 dan 7,06 hal ini tidak dapat dikatakan akibat dari adanya cacing merah karena cacing tersebut sudah mati.

Pada pengamatan sampel air limbah rumah potong hewan (RPH) menunjukkan pH awal 6,88. Pada control variasi sesuai dengan waktu detensi 3 hari, 6 hari dan 12 hari adalah 6,88 - 7,79. Pada perlakuan pH menunjukkan 6,88 - 7,90. Kenaikan pH naik pada sampel control dan perlakuan menunjukkan selama proses batch terjadi aktivitas yang menghasilkan banyak ion hydrogen sehingga terjadi peningkatan pH sehingga suasana menjadi basa.

BOD

Biological Oxygen Demand (BOD) atau kebutuhan oksigen biologis adalah suatu analisa empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air.

Bod awal sampel air limbah domestik menunjukkan 19,5 mg/l ini berarti bahwa sampel tersebut menunjukkan beban pencemarannya rendah (< 20 mg/l). untuk selanjutnya BOD control mengalami penurunan menjadi 18,9 mg/l ; 18,7 mg/l dan 17,5 mg/l hal ini menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik oleh bakteri mengalami penurunan walaupun hanya sedikit.

Bod pada perlakuan menunjukkan penurunan yang cukup berarti yaitu 15,1 mg/l ; 11,3 mg/l dan 7,1 hal ini menunjukkan bahwa selama aktifitas cacing masih ada yaitu sampai hari ke - 3 masih mempengaruhi proses penguraian zat organik sedangkan pada hari ke - 6 dan hari ke - 8 penguraian tersebut diduga terjadi oleh bakteri yang terkandung dalam air limbah itu sendiri dan oleh bakteri yang dihasilkan dari bangkai cacing.

Bod pada pengamatan terhadap sampel air limbah rumah potong hewan (rph) menunjukkan bod awal 25,1 mg/l hari ini menunjukkan beban pencemarannya sedang selanjutnya pada kontrol bod tersebut bervariasi menjadi 24,5 mg/l ; 29,2 mg/l dan 33,1 mg/l.

Angka ini bervariasi menunjukkan kebutuhan bakteri akan oksigen untuk menguraikan zat organik yang terkandung di dalamnya bervariasi pula. Pada perlakuan menunjukkan bod mengalami penurunan yaitu menjadi 20,1 mg/l ; 17,2 mg/l yaitu pada saat cacing merah masih hidup, sedangkan setelah kematian cacing merah bod mengalami penurunan menjadi 13,3 mg/l .meskipun cacing telah mati penguraian bahan organik masih terjadi

Nitrogen total

Selama proses mikrobiologis berlangsung, zat organik melepaskan nitrogen sebagai amoniak atau senyawa amina dsb. Nilai nitrogen total sampel air limbah domestik adalah 76,6 mg/l menunjukkan konsentrasi yang cukup tinggi. Setelah di diamkan selama waktu tiga hari, enam hari & delapan hari pada control menunjukkan penurunan yaitu : 27,2 mg/l ; 19,3 mg/l ; 17,1 mg/l. nitrogen total pada perlakuan juga mengalami penurunan konsentrasi dengan waktu detensi yang sama yaitu ; 26,1 mg/l ; 13,7 mg/l ; 16,1 mg/l. nitrogen total pada sampel air limbah rumah potong hewan (rph) menunjukkan konsentrasi awal 74,2 mg/l merupakan konsentrasi yang cukup tinggi. Pada control setelah waktu detensi tiga hari, enam hari dan delapan hari menunjukkan penurunan yaitu ; 60,2 mg/l ; 59 mg/l 49,9 mg/l. konsentrasi pada perlakuan : 16,6 mg/l ; 15,7 mg/l ; 12,6 mg/l.

Penurunan konsentrasi n total baik pada sampel air rumah domestik dan rph pada kontrol dan perlakuan diakibatkan adanya proses nitrifikasi dimana nitrogen dengan bantuan bakteri mengalami dekomposisi secara biologis sehingga konsentrasinya semakin berkurang. Pada perlakuan selain dekomposisi oleh bakteri di bantu pula oleh aktivitas cacing mesti hanya sampai hari ke – 3.

Detergen

Detergen merupakan bahan organik sintesis dengan bahan aktifnya surfactant biasa digunakan untuk pembersih surfactant mempunyai sifat sedikit larut dalam air dan menyebabkan busa pada air limbah. kandungan deterjen pada sampel air limbah domestik adalah 0,76 mg/l dan setelah waktu detensi yg telah di tentukan konsentrasinya menurun mesti sedikit menjadi : 0,71 mg/l ; 0,69 mg/l dan 0,60 mg/l.

Konsentrasi detergen pada perlakuan 0,49 mg/l dan 0,13 mg/l . penurunan yang terjadi sangat kecil karena memang sifat detergen salah satunya sukar didekomposisi secara biologis. Pada sampel air limbah rph konsentrasi awal 0,57 mg/l yang kemudian pada control mengalami penurunan menjadi : 0,56 mg/l ; 0,51 mg/l dan 0,50 mg/l. penurunan pada konsentrasi pada perlakuan adalah ; 0,43 mg/l ; 0,31 mg/l dan 0,17 mg/l.

Permanganate Value

Nilai permanganate sampel limbah domestik adalah 13,35 mg/l mengalami

penurunan pada control yaitu menjadi : 12,52 mg/l ; 11,31 mg/l dan 11,17 mg/l sedangkan pada perlakuan : 11,88 mg/l ; 9,71 mg/l dan 8,91 mg/l.

Nilai permanganate pada sampel air limbah rumah potong hewan adalah : 134,57 mg/l. pada control menunjukkan penurunan : 123,74 mg/l ; 121,75 mg/l ; 120,51 mg/l. Penurunan nilai permanganate pada perlakuan : 114,96 mg/l ; 110,39 mg/l dan 100,3 mg/l.

Nilai permanganat menunjukkan banyak-nya zat organik yang terkandung dalam air limbah. Zat organik tersebut dapat digunakan sebagai makanan bagi mikroorganisme dan cacing yang hidup didalamnya.

Total Suspended Solid

Nilai Total Suspended Solid atau zat padat tersuspensi menunjukkan banyaknya zat padat terapung yang bersifat organik dan zat padat terendap baik yang bersifat organik dan anorganik.

Nilai TSS pada sampel air limbah domestik adalah 135 mg/l. Setelah waktu detensi maka terjadi perubahan pada control yaitu : 130 mg/l ; 123 mg/l dan 116 mg/l. Nilai tersebut mengalami penurunan hal ini diakibatkan zat padat tersebut mengalami pengendapan secara fisik pada waktu detensi 3, 6 dan 8 hari. Sedangkan zat padat yang bersifat organik mengalami proses dekomposisi sehingga berkurang.

Pada perlakuan TSS mengalami peningkatan yaitu : 149 mg/l; 151 mg/l dan 161 mg/l. Hal ini diakibatkan karena adanya metabolisme yang dilakukan oleh cacing yang dapat menghasilkan zat padat yang bersifat organik. Pada sampel air limbah Rumah Potong Hewan (RPH) nilai TSS awal : 145 mg/l. pada control mengalami variasi : 140 mg/l ; 137 mg/l dan 139 mg/l. Hal ini dikarenakan selama waktu detensi terjadi proses pengendapan dan penguraian zat organik.

Pada perlakuan menunjukkan kenaikan : 149 mg/l ; 151 mg/l dan 169 mg/l. Sama halnya yang terjadi pada perlakuan air sampel limbah domestik pada air limbah rumah potong hewan dengan adanya cacing terjadi proses metabolisme yang menghasilkan zat padat.

SIMPULAN

Efek bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) terhadap air limbah domestik sampai dengan hari ke – 3 adalah pH awal : 7,2 turun menjadi 6,9 ; BOD awal : 19,3 mg/l turun menjadi 15,1 mg/l ; N Total awal : 76,6 mg/l

turun menjadi 26,1 mg/l ; Detergen awal : 0,76 mg/l turun menjadi 0,49 mg/l ; PV awal : 13,35 mg/l menjadi 11,88 mg/l ; TSS awal : 135 mg/l naik menjadi 149 mg/l

Efek Bioremediasi cacing merah (*Tubifex tubifex*) terhadap air limbah rumah potong hewan sampai hari ke - 3 adalah : pH awal : 6,88 naik menjadi 7,37 ; BOD awal : 25,1 mg/l turun menjadi 20,1 mg/l ; N Total awal : 74,2 mg/l turun menjadi 16,6 mg/l ; Detergen awal : 0,57 mg/l turun menjadi 0,43 mg/l ; PV awal : 134,57 mg/l menjadi 114,96 mg/l ; TSS awal : 145 mg/l naik menjadi 149 mg/l

SARAN

Perlu penelitian lebih lanjut tentang penggunaan cacing merah (*Tubifex tubifex*) untuk mengolah air limbah sesuai dengan daur hidup dan habitatnya yang lebih spesifik

sehingga dapat diperoleh lama waktu efektif penggunaannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Divisi Program Kerja Pemulihan Keanekaragaman Hayati kali Surabaya. Peningkatan Kuantitas Limbah Organik Picu Booming Cacing merah (*Tubifex tubifex*) di Kali Surabaya. 2001
2. Tresna Sastrawijaya, MSc. Pencemaran Lingkungan. Rineka Cipta. 1991.
3. S Prasetyo, J Padmono - Prosiding Workshop Teknologi Lingkungan. BPPT. , 1993
4. Reynolds/ Richards. Unit Operatin and Processes in Environmental Engineering. Second Edition. 1999.