

# PENGHILANGAN DETERJEN DAN SENYAWA ORGANIK DALAM AIR BAKU AIR MINUM DENGAN PROSES BIOFILTER UNGUN TETAP TERCELUP

Nusa Idaman Said

Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair  
Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT

## **Abstract**

*According to PDAM survey in Jakarta, Surabaya and other cities, surface water resources didn't meet standard quality anymore for raw drinking water. Synthetic detergents, mostly anionic detergents have been widely used in Indonesia over past three decades, similar to its use in other developing countries, and residuals from such use have entered the country's riverine and estuarine systems. Detergent and other organic substance problems have become more serious especially in urban areas where the spread of sewerage systems are still low. According to this reason, it is important to develop low-cost technology to solve this problem such as developing biological treatment for removing detergents and organics.*

*The present study describes the removal detergents and organic matter in river water using submerged fixed bed biofilter with honeycomb tube plastic media. The experiments were operated by submerged fixed bed biofilter reactor using honeycomb plastic media continuously with size 21 cm x 30 cm x 59 cm, the total volume 372 liters. Results of experiments showed that using this method the removal efficiency of organic matter were affected by hydraulic retention time in reactor. The best conditions are achieved in aerobic treatment (Hydraulic retention time 4 hours) with the removal efficiency were 68,702% for organic materials, and 71,85% for detergent respectively.*

**Kata kunci :** Penghilangan deterjen, air baku, biofilter, ungun tetap, media sarang tawon.

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Sampai saat ini khususnya di Indonesia, pengontrolan senyawa polutan organik yang ada dalam air minum masih lebih dititik-beratkan pada parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*), akan tetapi untuk masa yang akan datang senyawa-senyawa organik *carcinogen* (penyebab kanker), senyawa yang bersifat mutagenik serta senyawa organik yang dapat menimbulkan bioakumulasi harus mendapatkan perhatian yang lebih besar.

Di Indonesia, khususnya di daerah perkotaan, polusi deterjen dalam air minum masih menjadi masalah yang cukup serius,

terutama pada musim kemarau. Hal ini disebabkan karena konsumsi deterjen oleh masyarakat semakin besar sejalan dengan laju pertumbuhan penduduk. Di lain pihak fasilitas pengolahan limbah domestik yang banyak mengandung senyawa deterjen belum memadai atau sangat kurang, bahkan kadang belum ada sama sekali. Dengan demikian, senyawa deterjen telah mencemari sungai, danau, laut bahkan air tanah dangkal.

Deterjen merupakan salah satu bahan pencemar pada air baku. Penggunaan bahan deterjen oleh masyarakat di negara berkembang khususnya di Indonesia telah menyebabkan masalah yang cukup serius. Pencemaran deterjen terutama di kota-kota besar berpotensi

ke tingkat kritis bila melihat tingkat penggunaannya yang pesat baik kuantitasnya maupun kualitasnya. Deterjen sintesis terutama jenis anionic telah digunakan secara luas di Indonesia sejak 20 tahun terakhir sehingga residunya telah mengakibatkan pencemaran sungai, danau, laut maupun air tanah dangkal. Masalah tersebut menjadi lebih serius khususnya di kota-kota besar yang padat penduduknya, bahkan deterjen telah mencemari sungai-sungai yang digunakan sebagai air baku air minum.

Deterjen pada awalnya digunakan sebagai bahan pencuci pakaian dan piring atau perabot rumah tangga sejenisnya. Sekarang ini telah digunakan sebagai bahan pencuci lain seperti pencuci rambut atau sampo. Hal ini berdampak pada naiknya tingkat pencemaran di lingkungan perairan di sekitar permukiman penduduk, termasuk di sungai-sungai yang menjadi sumber air baku bagi perusahaan air minum. Air yang tercemar senyawa deterjen dalam jumlah banyak ternyata tidak mudah terurai dengan sistem instalasi yang ada sehingga diduga kuat senyawa tersebut masih terkandung dalam air bersih yang disalurkan ke rumah-rumah penduduk.

Deterjen atau surfaktan sintetis merupakan zat yang sangat bersifat toksik atau racun, jika tertelan dalam tubuh. Selain itu pada deterjen juga ada zat aditif lain seperti golongan amonium kuartener dan beberapa jenis surfaktan seperti Sodium Lauril Sulfat (SLS) dan Sodium Lauret Sulfat (SLES). Golongan amonium kuartener ini dapat membentuk senyawa nitrosamin yang bersifat karsinogenik. Selain itu senyawa yang menimbulkan kanker tersebut juga dapat terbentuk dari reaksi SLS dan SLES dengan senyawa golongan amonium kuartener. Disamping itu juga penggunaan deterjen dan kandungan fosfat tinggi dapat mengakibatkan proses eutrofikasi di perairan.

Masalah air baku air minum di kota-kota besar misalnya Jakarta, Surabaya dan lainnya, makin hari kualitasnya semakin menurun. Hal ini mengakibatkan semakin mahalnya biaya produksi air bersih dan pada kondisi tertentu nantinya akan menyebabkan Perusahaan Air Minum (PAM) setempat tidak bisa menghasilkan air bersih yang aman sesuai dengan

standar yang ditetapkan Menteri Kesehatan.

Dengan tingginya kandungan zat pencemar tersebut maka kebutuhan senyawa klorin untuk proses desinfeksi bertambah besar pula dan akibatnya kemungkinan terbentuknya senyawa Trihalometan dan senyawa halogen organik lainnya juga bertambah besar. Demikian juga dengan adanya kandungan fenol yang cukup besar. Dengan adanya pembubuhan klorin, fenol akan dengan mudah bereaksi dengan senyawa klor membentuk senyawa halogen organik Klorofenol yang sangat berbahaya.

Untuk menanggulangi masalah menurunnya kualitas air baku untuk air minum dapat dilakukan dengan berbagai teknologi pengolahan air lanjut (*advanced treatment*). Salah satu cara yakni seperti yang dilakukan oleh pihak PAM saat ini yaitu dengan karbon aktif bubuk. Tetapi dengan cara ini membutuhkan biaya yang tidak sedikit dan karbon aktif yang telah dipakai dapat tidak digunakan lagi. Salah satu cara yang perlu dipertimbangkan saat ini adalah dengan melakukan pengolahan awal (*pretreatment*) secara proses biologis (*biological process*) dengan sistem biofilter tercelup menggunakan media plastik sarang tawon.

Dengan cara ini PAM tidak perlu mengubah instalasi yang lama tetapi hanya menyediakan instalasi tambahan yang dioperasikan pada awal proses. Setelah proses pendahuluan tersebut air diolah seperti proses semula.

Proses ini sebenarnya sangat sederhana tetapi hasilnya cukup baik. Proses ini mampu mengurangi senyawa deterjen, ammonia dan zat organik yang ada di dalam air baku serta juga dapat menguraikan beberapa senyawa pestisida.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah mengkaji efektifitas penghilangan senyawa deterjen dan zat organik dalam air baku untuk air minum dengan proses biologis menggunakan biofilter unggun tetap tercelup.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Polutan Organik

Perusahaan Air Minum (PAM) di Indonesia umumnya menggunakan senyawa khlor (gas khlor ataupun kalsium hipoklorit) untuk proses disinfeksi atau untuk menghilangkan senyawa logam Fe, Mn, dan

ammonia. Dengan semakin besarnya senyawa ammonia dalam air baku, ammonia akan bereaksi dengan khlor menjadi khloramina yang daya disinfeksinya lebih lemah. Sebagai akibatnya, konsumsi khlor akan menjadi lebih besar, yang dengan kata lain biaya operasi juga membesar.

Dengan semakin besarnya konsentrasi senyawa khlor yang digunakan, hasil samping akibat penggunaan khlor tersebut, misalnya pembentukan senyawa Trihalomethan juga semakin besar. Trihalometanes atau disingkat THMs adalah senyawa derivat methan ( $\text{CH}_4$ ) yang tiga buah atom H nya diganti dengan unsur halogen misalnya khloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), bromoform ( $\text{CHBr}_3$ ), bromodikhloromethan ( $\text{CHBrCl}_2$ ) dan lainnya, yang mana senyawa-senyawa tersebut telah lama diidentifikasi sebagai zat penyebab kanker (*Carcinogen*). Di negara maju seperti Amerika, Eropa dan Jepang, jumlah total THMs maksimum yang dibolehkan dalam air minum yakni 0.1 mg/l atau 100 ppb <sup>(1)</sup>. Sedangkan menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 tanggal 29 Juli 2002 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum, kadar maksimum THMs (kholroform) 0,3 mg/l <sup>(2)</sup>.

Hasil reaksi pembentukan senyawa trihalomethan tersebut dapat dipengaruhi beberapa faktor antara lain, beban organik air baku, misalnya asam humus, BOD, senyawa methan, suhu serta konsentrasi khlor yang digunakan sebagai bahan disinfektant.

Salah satu hasil penelitian tentang terbentuknya senyawa halogen organik termasuk THMs dilaporkan oleh Lykins, Mose dan DeMacro <sup>(3)</sup>. Lykins dan kawan melakukan penelitian dengan menggunakan "pilot plant" di Jeferson Parish, Lousiana, dengan menggunakan air baku di hilir sungai Mississippi, dengan empat macam bahan disinfektan yakni khlorine, khlorine dioksida, ozone dan khloramine. Hasil penelitian tersebut seperti terlihat pada gambar 1. Konsentrasi total rata-rata halogen organik (TOX) dalam air olahan yakni sekitar 25 mg/l, 15 mg/l, 85 mg/l, 117 mg/l dan 263 mg/l, masing-masing untuk proses tanpa disinfeksi, disinfeksi dengan ozone, khlorine dioksida, khloramine dan khlorine.

Dari hasil percobaan tersebut terlihat dengan jelas bahwa disinfeksi dengan khlorine mengakibatkan terbentuknya TOX dengan konsentrasi yang paling tinggi, sedangkan disinfeksi dengan ozone menghasilkan TOX dengan konsentrasi yang paling rendah. Konsentrasi tersebut akan lebih besar jika beban polusi atau konsentrasi khlorine yang digunakan makin besar.

## 2.2 Deterjen

Menurut Sawyer & Mc.Carty <sup>(4)</sup> deterjen atau surfaktan adalah senyawa yang molekulnya mempunyai struktur gugus tertentu yang menyebabkan senyawa tersebut mempunyai sifat-sifat deterjen misalnya sifat dapat menimbulkan busa. Deterjen mempunyai kemampuan untuk menghilangkan kotoran pada pakaian, sehingga banyak digunakan sebagai bahan pembersih. Untuk mengaktifkan sifat pembersihnya itu, deterjen dilengkapi zat kimia yang mampu mengurangi tegangan permukaan air, sehingga dapat menimbulkan busa.

Permasalahan yang timbul adalah karena zat pengaktif yang disebut sebagai *surfactant agents* misalnya ABS (*Alkyl Benzene Sulfonate*), sulit diuraikan secara biologis (*non-biodegradable*). Dampak yang ditimbulkan oleh ABS ini ternyata masih banyak digunakan sebagai bahan baku deterjen di Indonesia. Menurut Ainsworth <sup>(5)</sup> dampak tersebut antara lain:

- 1) Terbentuknya film/lapisan pada permukaan badan air yang akan menghalangi transfer oksigen dari udara ke dalam air.
- 2) Bila konsentrasi deterjen melebihi konsentrasi 3 ppm akan menyebabkan terbentuknya busa yang stabil.
- 3) Kombinasi antara *polyphosphate* dengan *surfactant* akan dapat mempertinggi kandungan nutrisi dalam air sehingga menyebabkan proses eutrofikasi, yang akan mempercepat laju pertumbuhan gulma air, seperti enceng gondok.

Sampai saat ini, telah banyak penelitian tentang penguraian deterjen secara biologis termasuk aspek biologi maupun biokimia, yang telah dilakukan oleh para peneliti diseluruh dunia. Beberapa faktor atau variabel yang sangat berpengaruh terhadap proses penguraian deterjen secara biologis antara lain : jenis mikroorganisme, waktu penyesuaian mikroorganisme terhadap lingkungannya (*adaptation atau acclimation time*), jenis deterjen atau surfactant, oksigen, konsentrasi awal deterjen, zat racun yang dapat mengganggu mikroorganisme. Berdasarkan faktor atau

variabel tersebut diatas dan faktor lain yang kadang-kadang belum diketahui, hasil penguraian deterjen secara biologis mungkin sangat beragam atau bervariasi. Hal ini tidak hanya terjadi pada peruraian biologis deterjen tetapi juga terjadi pada senyawa organik yang lain.

Pada permukaan air, mikroorganisma diharapkan berperan untuk menguraikan deterjen secara biologis. Namun, perilaku mikroorganisma dalam penurunan deterjen di perairan tergantung dari struktur kimia penyusun deterjen. Umumnya materi penyusun yang berasal dari sabun dan alkohol sulfat mudah diurai bakteri, sedangkan sebagian unsur lain perlu dihidrolisa dahulu oleh air sebelum diuraikan bakteri, misalnya: *synthetic detergent* dengan gugus ester atau amide. ABS yang berasal dari propylene yang resisten terhadap serangan bakteri sehingga potensial dapat mencemari permukaan air. Konsentrasi pada air permukaan berkisar pada 0,05 – 0,6 mg/l<sup>(5)</sup>.

Deterjen hingga kini merupakan sumber utama phosphor karbonat dalam air limbah dan badan air yang menerimanya. Polyphosphate digunakan sebagai agen pembentuk senyawa kompleks sedangkan karbonat digunakan untuk menghilangkan  $Ca^{2+}$  melalui proses presipitasi. Senyawa fosfat merupakan nutrien yang apabila berada di dalam perairan dapat menyebabkan terjadinya eutropikasi, oleh karena itu peraturan yang ketat tentang kandungan phosphat dalam deterjen akan mengurangi deterjen pada badan air dalam jumlah yang besar. Hal ini pernah dilakukan di negara bagian Virginia, Amerika Serikat, yang mencekal penggunaan deterjen yang mengandung phosphat secara menyeluruh sehingga mampu mengurangi kontribusi pencemaran phosphat sampai seperlima dari sebelumnya<sup>(6)</sup>.

Fressenden & Fressenden<sup>(7)</sup> mengatakan bahwa deterjen yang kemudian dikenal adalah *synthetic detergent (syndet)* dibuat untuk mengatasi masalah kelemahan penggunaan sabun sebagai bahan pencuci yaitu dengan menggunakan *surfactant (surface active agent)*. *Surfactant* inilah yang menjadi penentu kualitas suatu deterjen karena fungsinya sebagai pelarut, pembasah (*wetting*), pembusaan sekaligus sebagai pembersih. Sifat pelarutnya dapat

digunakan untuk mengatasi terbentuknya endapan apabila digunakan pada air yang sadah. Hal ini disebabkan oleh adanya kehadiran gugus sulfat dan gugus sulfonat melengkapi gugus  $-COONa$  pada karboksil, menjadi  $C-OSO_3-Na$  atau  $-C-SO_3-Na$ . Gugus negatif dari molekul ini apabila terurai dalam air membentuk gugusan yang mempunyai sifat aktif pada permukaan (*surfactant*). Pembentukan *sulfonate* ini berasal dari turunan ester, amida dan alkyl benzene, yang salah satunya adalah berasal dari polimer propylene dan alkyl yang menurunkan *Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)*. Sifat ABS yang terkenal adalah sulitnya diurai oleh mikroorganisma, karena berasal dari gugus alkyl yang bercabang banyak. Berikutnya kemudian dikenal juga turunan yang berasal dari rantai hidrokarbon yang lurus sehingga relatif mudah diurai secara biologis, yaitu *Linear Alkyl Sulfonate (LAS)*.

Salah satu hasil penelitian tentang penguraian deterjen secara biologis dengan menggunakan senyawa deterjen jenis homolog LAS (linier alkyl benzene sulfonate) di dalam air sungai telah dilaporkan oleh Swisher<sup>(8)</sup>. Swisher menyatakan bahwa penguraian LAS secara biologis akan lebih cepat pada homolog LAS dari C6 sampai dengan C12, dan lebih lambat pada homolog LAS C12 sampai C15, dan naik lagi sampai homolog C18. Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti, Swisher<sup>(9)</sup> merangkum beberapa kesimpulan yakni:

- Struktur gugus hydrophobic adalah faktor yang sangat penting dalam menentukan kemampuan dapat urai (biodegradability) dari suatu senyawa deterjen. Penguraian deterjen secara biologis akan bertambah cepat sejalan dengan tingkat kelinieran (linearity) gugus hydrophobicnya, dan lebih sulit terurai apabila gugus hydrophobicnya mempunyai rantai cabang, khususnya rantai cabang kuaternair.
- Struktur gugus hydrophilic sangat kurang berpengaruh terhadap kemampuan dapat urai suatu senyawa deterjen.
- Semakin panjang jarak antara gugus sulfonate dengan ujung terjauh dari gugus hydrophobicnya, kecepatan penguraian biologis primernya makin besar dan hal ini kemungkinan dapat terjadi pada tipe deterjen lain.

Contoh lain hasil pengujian kemampuan dapat urai (biodegradability) dari senyawa deterjen anionic (deterjen ion negatif) telah

dilaporkan oleh Okpokwasili dan Olisa <sup>(10)</sup>. Kedua peneliti tersebut telah melakukan pengkajian tentang penguraian biologis terhadap beberapa deterjen komersial dan sampo dengan metoda "die away" dengan menggunakan air sungai, dan berhasil mengidentifikasi jenis mikroorganisme yang berpengaruh terhadap penguraian deterjen secara biologis yakni antara lain : genera vibrio, flavobacterium, klebsiella, pseudomonas, enterobacter, bacillus, escherichia, shigella, citobacter, proteus dan anabaena.

Said <sup>(11)</sup> telah melakukan penelitian penguraian deterjen anionic (ABS) dengan menggunakan lumpur biologis yang disaring dari air danau di dalam reaktor batch. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa laju penguraian deterjen secara biologis dipengaruhi beberapa faktor antara lain konsentrasi awal deterjen, jumlah mikroorganismenya (dalam hal ini ditunjukkan dengan konsentrasi padatan tersuspensi, SS), dan juga kondisi pHnya. Makin kecil konsentrasi deterjen atau makin besar jumlah mikroorganisme (makin besar konsentrasi lumpur biologisnya), kecepatan penguraiannya makin besar, sedangkan pada kondisi pH netral atau mendekati netral kecepatan penguraiannya lebih besar dibandingkan apabila pada kondisi asam atau basa.

Meskipun banyak peneliti telah melakukan penelitian tentang penguraian deterjen secara biologis termasuk mekanisme metabolismenya, namun masih diperlukan lebih banyak lagi data tentang penguraian deterjen secara biologis, khususnya data yang berhubungan dengan keperluan praktis atau operasional yang dapat digunakan untuk keperluan pengolahan air minum.

### **2.3 Penguraian Deterjen Secara Biologis**

Penguraian senyawa kimia secara biologis (biological degradation atau disingkat *biodegradation*) didefinisikan sebagai perombakan atau penguraian senyawa kimia oleh aktifitas biologis dari makhluk hidup, khususnya oleh aktifitas mikroorganisme.

Mikroorganisme memainkan peranan yang sangat penting di dalam siklus biokimia, terutama siklus karbon. Mikroorganisme tersebut memecah senyawa kimia, khususnya senyawa organik

yang kompleks menjadi bentuk senyawa yang lebih sederhana dengan berat molekul yang lebih kecil. Proses penguraian secara biologis telah banyak digunakan antara lain untuk pengolahan air limbah domestik maupun air limbah industri. Hal ini karena mikroorganisme mempunyai kemampuan untuk menguraikan atau merombak senyawa organik kompleks, bahkan pada beberapa senyawa yang sangat tahan terhadap perombakan (*degradation*) misalnya senyawa pestisida dan lain-lain.

Proses penguraiannya secara keseluruhan adalah proses oksidasi, dan melalui mekanisme sedemikian rupa sehingga zat organik yang kompleks dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Dalam penguraian secara biologis ini, mikroorganisme yang sangat penting adalah bakteri. Bakteri akan menggunakan senyawa organik sebagai makanan, kemudian merombaknya menjadi senyawa yang lebih kecil dan menggunakan energi yang ditimbulkan untuk berkembang biak.

Deterjen atau surfactant adalah senyawa yang molekulnya mempunyai struktur gugus tertentu yang menyebabkan senyawa tersebut mempunyai sifat dapat menimbulkan busa dan sebagainya. Di dalam studi tentang penguraian deterjen secara biologis ada tiga jenis definisi yang perlu dipertimbangkan, yakni penguraian biologis primair (*primary biodegradation*), penguraian biologis sampai tahap dapat diterima lingkungan (*environmentally acceptable biodegradation*), dan penguraian biologis sempurna atau final (*ultimate biodegradation*) <sup>(12)</sup>.

Penguraian biologis primair didefinisikan sebagai penguraian senyawa kimia yang kompleks oleh aktifitas mikroorganisme menjadi bentuk senyawa lain sedemikian rupa sehingga senyawa hasil penguraian tersebut tidak lagi memiliki karakteristik atau sifat senyawa asalnya. Untuk penguraian biologis primair dari senyawa deterjen, biasanya sampai tahap dimana sifat-sifat deterjennya menjadi hilang.

Penguraian biologis sampai tahap dapat diterima lingkungan didefinisikan sebagai penguraian oleh aktifitas mikroorganisme dimana senyawa kimia telah dipecah secara biologis sampai tahap diterima oleh lingkungan atau sampai tahap tidak menunjukkan sifat-sifat yang tidak diinginkan misalnya sifat menimbulkan busa, sifat racun, merusakkan terhadap keindahan dan sebagainya. Di dalam beberapa hal, ke dua definisi tersebut diatas adalah sama.

Penguraian biologis akhir atau sempurna didefinisikan penguraian senyawa kimia, dalam hal ini deterjen oleh aktifitas mikroorganisme

secara lengkap atau sempurna menjadi karbon dioksida, air dan garam anorganik dan produk lain yang berhubungan dengan proses proses metabolisme normal dari mikroorganism (bakteria).

Di dalam studi penguraian deterjen secara biologis ini, dibatasi hanya sampai tahap penguraian biologis primer yang mana hanya sampai tahap tidak bereaksi terhadap methylene blue (MB) atau metoda analisa MBAS (*methylene blue active substance*).

### 3. METODA PENELITIAN

#### 3.1 Material

##### 3.1.1 Air Baku

Air baku yang digunakan pada penelitian ini diambil dari air sungai Kalimantan yang merupakan air baku PDAM Bekasi, Instalasi Produksi Poncol, Jl. RA. Kartini 2A Bekasi.

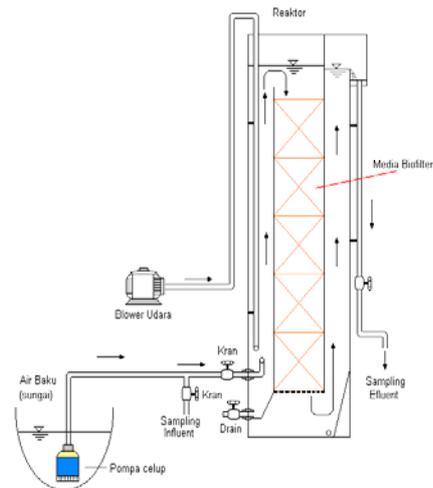
##### 3.1.2 Reaktor Biologis

Reaktor biologis yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis/model reaktor biologis yang terbuat dari bahan fiberglass dengan ukuran 210 cm x 59 cm x 30 cm. Reaktor ini dilengkapi dengan lubang inlet dan lubang outlet yang terletak pada kedua sisi reaktor. Lumpur yang terendapkan dapat dikeluarkan melalui ruang lumpur pada bagian bawah reaktor. Diagram proses dan skema reaktor biologis yang digunakan untuk penelitian terlihat seperti pada Gambar 1, sedangkan

#### 3.2 Prosedur Percobaan

##### 3.2.1 Pertumbuhan Mikroorganism

Pertumbuhan mikroorganism dilakukan secara alami dengan cara mengalirkan air baku sungai secara kontinyu ke dalam reaktor melalui media penyangga sampai terbentuknya lapisan biofilm yang melekat pada media. Pertumbuhan mikroorganism ini juga didukung oleh suplai udara secara terus menerus dengan menginjeksikan udara ke dalam reaktor melalui alat pompa udara.



Gambar 1 : Diagram proses pengolahan yang digunakan untuk penelitian.

Tabel 1. Spesifikasi Reaktor Biologis dengan Media Plastik Sarang Tawon

No	Uraian	Keterangan
1.	Dimensi Reaktor  Volume Efektif Bahan	Panjang : 59 cm Lebar : 30 cm Tinggi : 210 cm 372 liter Fiberglass
2	Media Penyangga : Bahan Tipe Ukuran Lubang Ketebalan Media Ukuran Modul Luas Permukaan Spesifik Berat Spesifik Media Porositas Media	PVC Sheet Sarang Tawon (Cross flow) 2 cm x 2 cm 0,5 mm 30 cm x 25 cm x 30 cm $\pm 226 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ 30 – 35 kg / $\text{m}^3$ 98%
3.	Peralatan Pendukung	Kran Sampling Blower udara Pipa PVC ½ "

##### 3.2.2 Proses Pengolahan

Penelitian ini menggunakan suatu reaktor berskala pilot plant. Reaktor ini mempunyai ukuran tinggi 210 cm, panjang 59 cm dan lebar 30 cm dengan volume 372 liter dan dibuat dari bahan fiberglass. Reaktor biofilter terdiri dari bak pengendapan awal, bak biofilter yang terdiri dari media sarang tawon dan pengendapan akhir. Bioreaktor ini dilengkapi dengan pipa inlet dan pipa outlet yang terletak pada kedua sisi reaktor. Pada bagian bawah reaktor terdapat ruang lumpur yang berfungsi sebagai tempat

pengendapan yang dapat digunakan untuk mengeluarkan lumpur yang mengendap.

Pengaliran air yang akan diolah dilakukan dengan terus-menerus (*continues flow*) dan aliran di dalam media biofilter dilakukan adalah secara *down flow* (dari atas ke bawah). Proses yang terjadi pada bioreaktor adalah proses aerobik. Pemberian oksigen dilakukan dengan cara menggunakan pompa (blower) udara yang diinjeksikan ke dalam reaktor.

Media penyangga yang dipergunakan adalah sarang tawon (*cross flow*) yang terbuat dari plastik. Ukuran modul tiap media adalah 30 cm x 25 cm x 30 cm. Penelitian ini menggunakan 5 media dengan keseluruhan tinggi 1,5 m.

Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu tinggal hidrolis, yaitu 4 jam, 3 jam, 2 jam dan 1 jam untuk melihat kemampuan bioreaktor dalam menyisihkan zat organik dan senyawa deterjen. Pemilihan waktu tinggal hidrolis ini disesuaikan dengan kriteria pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) yang umum digunakan yaitu berkisar antara 0,5 – 4 jam. Penelitian dilanjutkan dengan melakukan sirkulasi yaitu mengalirkan kembali air olahan yang ada pada bak pengendapan akhir menggunakan pompa sirkulasi ke bak biofilter.

### 3.3 Prosedur Analisis

Seluruh prosedur analisis yakni zat organik dan konsentrasi deterjen anionic (MBAS) didasarkan pada "American Standard Method for Drinking Water" <sup>(13, 14)</sup>. Konsentrasi deterjen anionik diukur dengan "Methylene Blue Method" sebagai "methylene blue active substances" (MBAS), sedangkan zat organik diukur dengan metoda angka permanganat.

#### a. Zat Organik (Angka Permanganat, $KMnO_4$ )

Pengukuran kandungan zat organik dilakukan dengan metode titrasi. Kelebihan permanganat yang terpakai untuk oksidasi senyawa organik dalam sampel air yang diperiksa, direduksi oleh asam oksalat. Kelebihan asam oksalat dititrasi kembali dengan larutan ( $KMnO_4$ ).

#### b. Deterjen (*Methylene Blue Active Substances*)

Pengukuran kandungan deterjen dianalisa dengan metode Spektrofotometri. Reaksi surfactan anionik dengan *Methylene Blue* membentuk garam biru yang larut dalam kloroform. *Methylene Blue* dan surfactan anionik sendiri larut dalam air, tetapi tidak larut dalam  $CHCl_3$ , sedang garamnya yang berwarna biru dapat diekstraksi dengan  $CHCl_3$  dan kemudian absorbansinya diukur dengan Spektrofotometer pada panjang gelombang 653 nm.

## 4. HASIL PERCOBAAN

### 4.1 Pembiakan Mikroorganisme

Pembiakan (*seeding*) mikroorganisme dilakukan secara alami yaitu dengan cara mengalirkan air baku dari saluran Tarum Barat (Kalimalang) yang akan diolah secara terus menerus ke dalam bioreaktor yang telah terisi media sarang tawon sampai terbentuknya lapisan biofilm yang melekat pada media dengan waktu tinggal hidrolis 6 (enam) jam. Proses yang terjadi dalam bioreaktor pada pembiakan mikroorganisme adalah proses tanpa aerasi sehingga tidak dilakukan pemberian udara ke dalam reaktor.

Pada awal penelitian selama 1 (satu) minggu pertama dilakukan pengamatan secara fisik. Pada tahap ini proses pengolahan belum berjalan dengan baik karena mikroorganisme yang ada pada bioreaktor belum tumbuh secara optimal. Setelah proses berjalan selama 1 (satu) minggu mikroorganisme sudah mulai tumbuh dan berkembang biak serta membentuk lapisan lendir (biofilm) pada permukaan media. Lapisan biofilm ini mengandung mikroorganisme yang akan menguraikan zat pencemar organik yang terdapat pada air baku.

Pertumbuhan mikroorganisme diamati dengan mengukur penghilangan senyawa organik (angka permanganat,  $KMnO_4$ ) di dalam bioreaktor setelah 1 (satu) minggu proses berjalan. Pengukuran dilakukan setiap hari sampai penghilangan zat organik menjadi relatif stabil.

Efisiensi pengurangan zat organik pada awal pengoperasian relatif kecil yaitu 35,18%. Hal ini disebabkan karena pada awal operasi berjalan, pertumbuhan mikroorganisme belum optimal sehingga lapisan *biofilm* yang terbentuk juga masih tipis. Pada hari ke-4 efisiensi penghilangan sudah mulai meningkat menjadi 50,09%. Pada hari ke-9 penghilangan zat

organik telah menunjukkan peningkatan yaitu mencapai 59,02%. Peningkatan efisiensi ini disebabkan mikroorganisme pada reaktor telah tumbuh dan berkembang biak dan membentuk lapisan biofilm yang lebih tebal dari sebelumnya sehingga zat organik yang ada dalam air baku diuraikan. Peningkatan ini mulai menunjukkan kestabilan pada hari ke-10 sampai hari ke-13 yaitu 60,21% - 60,07%. Ini berarti penguraian air baku oleh mikroorganisme pengurai telah bekerja optimal.

Perubahan konsentrasi senyawa organik sebelum dan sesudah pengolahan serta efisiensi penghilangan senyawa organik selama proses "seeding" secara lengkap dapat juga dilihat pada Gambar 2. Dari Gambar 2 tersebut tampak jelas bahwa pada operasi hari ke-10 sampai dengan hari ke-13, pengurangan zat organik meningkat dari hari sebelumnya dan cenderung stabil, yaitu antara 59,77% - 61,49%. Gambar 2 juga menunjukkan bahwa efisiensi penurunan konsentrasi senyawa organik dari hari ke-1 sampai hari ke-13 mengalami peningkatan dan menjadi stabil. Hal ini menunjukkan bahwa proses awal pertumbuhan mikroba dan pembentukan lapisan biofilm pada media membutuhkan waktu beberapa minggu, yang dikenal dengan proses pematangan. Adanya penghilangan zat organik yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa mikroorganisme telah tumbuh melekat pada media dan membentuk lapisan *biofilm*.

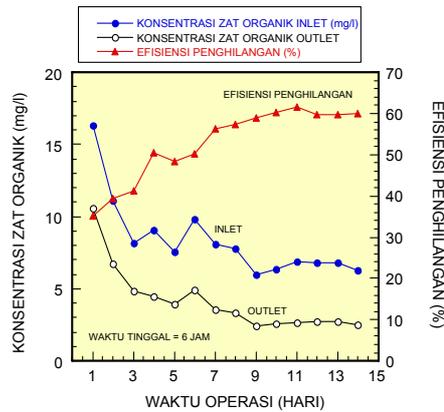
## 4.2 Hasil Percobaan tanpa Aerasi

### 4.2.1 Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolis Terhadap Pengurangan Senyawa Organik pada Pengolahan Tanpa Aerasi

Perubahan konsentrasi zat organik sebelum dan sesudah pengolahan serta efisiensi pengurangan zat organik di dalam reaktor biofilter pada selang waktu tinggal hidrolis (WTH) empat jam sampai dengan satu jam secara lengkap ditunjukkan seperti pada Gambar 3.

Dari Gambar tersebut menunjukkan bahwa efisiensi penurunan senyawa organik berdasarkan variasi waktu tinggal hidrolis satu sampai empat jam berkisar antara 17 % - 52 %. Dengan adanya efisiensi penurunan tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi proses penguraian di dalam reaktor biofilter.

Gambar 2 : konsentrasi senyawa organik di dalam Influen dan Efluen serta efisiensi



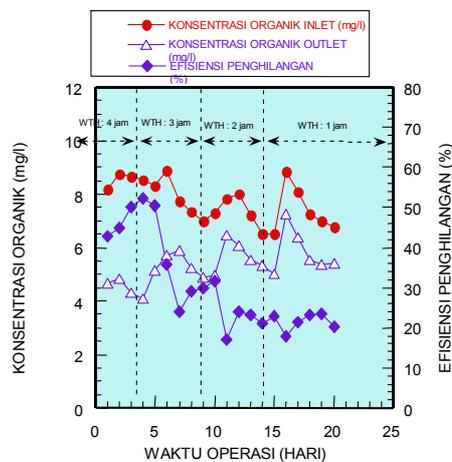
penghilangan senyawa organik selama proses "seeding".

Keterangan:

Temperatur Air: 30 - 33 °C ; pH air : 7,3 - 7,5

Data diambil pada jam 8.00 - 9.00 WIB

Pada pengolahan dengan kondisi reaksi waktu tinggal hidrolis 1 jam efisien penurunan sebesar 21,24%, untuk waktu tinggal 2 jam menunjukkan efisiensi sebesar 21,64, untuk waktu tinggal 3 jam efisiensi sebesar 30,07. Dari Gambar 3 tampak bahwa efisiensi penurunan senyawa organik ini semakin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu tinggal di dalam reaktor walaupun peningkatan itu tidak tinggi. Peningkatan efisiensi ini dikarenakan semakin lama waktu kontak antara air baku dengan lapisan biomassa yang tumbuh di media akan semakin banyak zat organik yang terurai. Efisiensi rata-rata tertinggi pada waktu tinggal hidrolis 4 jam yaitu sebesar 48,08%.



Gambar 3 : Konsentrasi zat organik sebelum dan sesudah pengolahan serta efisiensi

penghilangan berdasarkan waktu tinggal hidrolis di dalam reaktor

Keterangan:

Temperatur Air: 30 – 33 °C ; pH air ; 7,3 – 7,5

Data diambil pada jam 8.00 – 9.00 WIB

#### 4.2.2 Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolis Terhadap Pengurangan Deterjen pada Pengolahan Tanpa Aerasi

Perubahan konsentrasi deterjen sebelum dan sesudah pengolahan serta efisiensi pengurangan deterjen di dalam reaktor biofilter pada selang waktu tinggal hidrolis (WTH) empat jam sampai dengan satu jam secara lengkap ditunjukkan seperti pada Gambar 4.

Operasi pengolahan berjalan secara kontinyu ini dilakukan variasi debit alir air baku dengan waktu tinggal hidrolis 4 jam, 3 jam, 2 jam dan 1 jam.

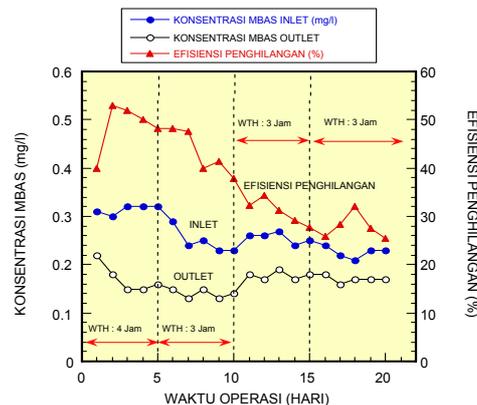
Dari Gambar 4 tampak bahwa konsentrasi air baku masuk (influen) dan keluar (efluen) mengalami turun naik sehingga menghasilkan efisiensi yang berfluktuasi pula. Sedangkan dari Tabel 6 menunjukkan bahwa pada waktu tinggal hidrolis 4 jam, 3 jam, 2 jam dan 1 jam menghasilkan efisiensi yang stabil untuk tiap-tiap waktu tinggal hidrolis. efisiensi penghilangan 32,17% dan rata-rata efisiensi penghilangan 27,93%. Pada waktu tinggal hidrolis 2 jam keadaan stabil pada hari ke-2 dengan efisiensi penghilangan 34,31% dan rata-rata efisiensi penghilangan 30,94%. Pada waktu tinggal hidrolis 3 jam keadaan stabil pada hari ke-2 dengan efisiensi penghilangan 47,62% dan rata-rata efisiensi penghilangan 43,04%. Sedangkan pada waktu tinggal hidrolis 4 jam keadaan stabil pada hari ke-3 dengan efisiensi penghilangan 52,94% dan rata-rata efisiensi penghilangan 48,61%. Jadi dapat diketahui bahwa keadaan terbaik tercapai pada waktu tinggal hidrolis 4 jam. Fenomena tersebut kemungkinan disebabkan karena mikroorganisme memerlukan waktu adaptasi untuk dapat menguraikan deterjen. Pada waktu tinggal hidrolis 1 jam keadaan stabil pada hari ke-3 dengan

Gambar 4 : Konsentrasi deterjen sebelum dan sesudah pengolahan serta efisiensi penghilangan (tanpa aerasi).

Keterangan:

Temperatur Air: 30 – 33 °C ; pH air ; 7,3 – 7,5

Data diambil pada jam 8.00 – 9.00 WIB

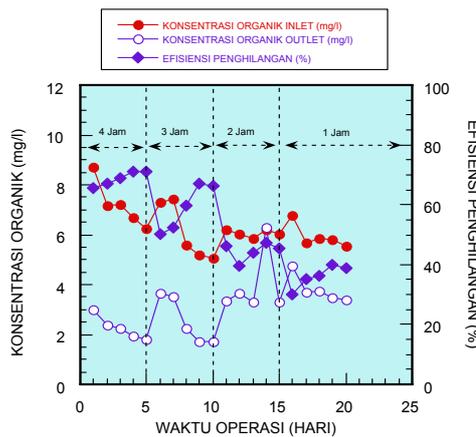


#### 4.3 Hasil Percobaan dengan Aerasi

##### 4.3.1 Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolis Terhadap Pengurangan Senyawa Organik Pada Pengolahan Dengan Aerasi

Setelah pengaturan waktu tinggal hidrolis dilakukan di dalam reaktor, proses pengolahan dibiarkan selama beberapa hari hingga didapat keadaan stabil. Perubahan konsentrasi senyawa organik sebelum dan sesudah pengolahan serta efisiensi pengurangan senyawa organik di dalam reaktor biofilter dapat dilihat secara lengkap pada Gambar 5.

Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan senyawa organik berdasarkan variasi waktu tinggal hidrolis berkisar antara 30,07% - 71,21%. Dengan adanya efisiensi penurunan tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi proses penguraian di dalam reaktor biofilter. Selanjutnya penurunan senyawa organik ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 : Konsentrasi Senyawa Organik Sebelum dan Sesudah Pengolahan Dengan Aerasi serta Efisiensi Penghilangan (dengan aerasi).

Keterangan:

Temperatur air : 30 – 33°C ; pH air : 7,3 – 7,5

Data diambil pada jam 8.00 – 9.00 WIB

Dari hasil penelitian tersebut terlihat bahwa setelah waktu tinggal diubah menjadi empat jam efisiensi pengurangan senyawa organik sekitar 65% dan menjadi stabil setelah tiga hari operasi yaitu efisiensi pengurangan naik menjadi sekitar 71%. Fenomena yang sama juga terjadi setelah waktu tinggal diubah menjadi tiga jam, dua jam dan satu jam yaitu efisiensi pengurangan senyawa organik turun dan perlahan-lahan efisiensi pengurangan senyawa organik naik lagi dan menjadi stabil setelah 3-4 hari operasi. Hal ini kemungkinan disebabkan karena mikroorganisme memerlukan waktu adaptasi terhadap perubahan beban organik yang masuk ke dalam reaktor.

Penurunan efisiensi pengurangan senyawa organik sebanding dengan penurunan waktu tinggal hidrolis. Hal ini disebabkan semakin sedikitnya waktu kontak antara beban organik dengan mikroorganisme pada lapisan biofilm sehingga semakin sedikit kesempatan mikroba untuk dapat memanfaatkan senyawa organik tersebut untuk proses metabolisme tubuhnya. Waktu tinggal hidrolis yang juga dapat menyebabkan peningkatan debit aliran sehingga mengakibatkan penambahan beban hidrolis pada reaktor.

Efisiensi pengurangan senyawa organik yang paling besar di dalam reaktor biofilter ini pada waktu tinggal hidrolis 4 jam yaitu 68,70%. Untuk waktu tinggal hidrolis 3 jam efisiensi rata-rata pengurangan senyawa organik sebesar 59,27% dan untuk waktu tinggal hidrolis 2 jam efisiensi rata-rata pengurangan senyawa organik sebesar 44,53%. Sedangkan efisiensi pengurangan rata-rata senyawa organik terkecil pada waktu tinggal hidrolis 1 jam yaitu sebesar 35,98%.

#### 4.3.2 Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolis Terhadap Pengurangan Deterjen Pada Pengolahan Dengan Aerasi

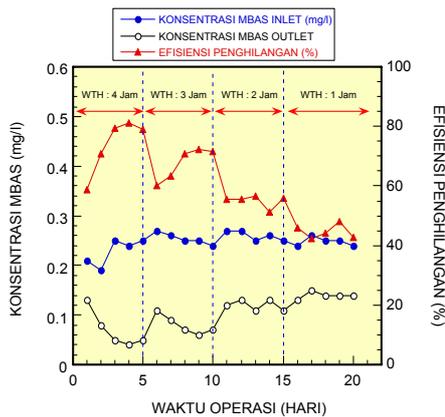
Perubahan konsentrasi deterjen sebelum dan sesudah pengolahan serta efisiensi pengurangan deterjen di dalam reaktor biofilter pada selang waktu tinggal hidrolis (WTH) empat jam sampai dengan satu jam secara lengkap ditunjukkan seperti pada Gambar 6.

Operasi pengolahan berjalan secara kontinyu dengan memberikan oksigen ke dalam reaktor biofilter ini juga dilakukan variasi waktu debit alir air baku dengan waktu tinggal hidrolis 4 jam, 3 jam, 2 jam dan 1 jam.

Dari Gambar 6 tersebut di atas tampak bahwa efisiensi pengurangan deterjen mengalami fluktuasi seiring dengan naik turunnya konsentrasi deterjen inlet dan outlet. Sedangkan dari Tabel 6 juga menunjukkan bahwa pada tiap waktu tinggal hidrolis menghasilkan efisiensi pengurangan yang stabil pada hari ke 3-4 hari operasi.

Pada waktu tinggal hidrolis 1 jam efisiensi pengurangan sebesar 44,60% dan pada waktu tinggal hidrolis 2 jam efisiensi pengurangan sebesar 54,31%. Untuk waktu tinggal hidrolis 3 jam efisiensi pengurangan sebesar 57,68 sedangkan untuk waktu tinggal hidrolis efisiensi pengurangan sebesar 73,33%.

Berdasarkan hasil efisiensi pengurangan tersebut tampak bahwa semakin kecil waktu tinggal hidrolis maka efisiensi pengurangan semakin turun. Fluktuasi penurunan tersebut cukup kecil bila dibandingkan dengan waktu tinggal hidrolis yang lain yaitu untuk waktu tinggal hidrolis 4 jam dan 3 jam yaitu sebesar 7,71%. Dari waktu tinggal hidrolis 3 jam ke 2 jam sebesar 19,76% dan penurunan dari waktu tinggal hidrolis 2 jam ke 1 jam sebesar 17,87%.



Gambar 6 : Konsentrasi Deterjen Sebelum dan Sesudah Pengolahan dengan Aerasi serta Efisiensi Penghilangan.

Keterangan:

Temperatur air: 30 – 33°C ; pH air : 7,3 – 7,5

Data diambil pada jam 8.00 – 9.00 WIB

Dari Gambar 6 juga dapat diketahui adanya penurunan efisiensi pengurangan konsentrasi deterjen untuk tiap perubahan waktu tinggal dan mencapai titik kestabilan pada tiap-tiap waktu tinggal hidrolis. Hal ini disebabkan karena semakin sedikitnya waktu kontak antara beban organik dengan mikroorganisme pada lapisan biofilm sehingga semakin sedikit kesempatan mikroba untuk menguraikan deterjen.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengolahan air baku air minum dengan reaktor biofilter tercelup tanpa aerasi dan dengan aerasi menggunakan media plastik sarang tawon dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Proses biofilter tercelup menggunakan media plastik sarang tawon dengan sistem aerasi dapat menurunkan konsentrasi dan meningkatkan efisiensi penghilangan zat organik dan deterjen yang lebih optimal pada pengolahan air baku air minum.
- Dengan waktu tinggal hidrolis 4 jam diperoleh hasil yang optimum pada peningkatan penurunan konsentrasi dan efisiensi penghilangan zat organik, dan deterjen.
- Pertumbuhan mikroorganisme secara alami tanpa aerasi mulai membentuk lapisan *biomassa (biofilm)* yang melekat pada permukaan media pada

hari ke-13 (tiga belas) dan kondisi ini stabil selama 2 (dua) minggu dengan efisiensi pengurangan 60%.

- Mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang dengan baik bila kondisi lingkungannya adalah aerob, artinya ada oksigen yang berguna untuk berkembang biak.
- Secara keseluruhan efisiensi pengurangan senyawa organik, deterjen, ammonia, padatan tersuspensi dan peningkatan oksigen terlarut diperoleh hasil yang optimum pada pengolahan tahap aerasi.
- Pada pengolahan tahap tanpa aerasi dengan waktu tinggal hidrolis 4 jam diperoleh efisiensi penghilangan senyawa organik sebesar 48,08%, dan efisiensi penghilangan deterjen sebesar 48,61 %, Sedangkan dengan proses aerasi diperoleh efisiensi penghilangan senyawa organik sebesar 68,702 %, dan efisiensi penghilangan deterjen sebesar 71,85 %.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ---- " *Water Supply Engineering Vol.1* ", JICA, March 1984.
2. Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 tanggal 29 Juli 2002 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum
3. Lykins, B.W., Moser, R., DeMacro, J. *Treatment Technology In The United States, Disinfection And Controls Of Disinfection By-Product* , The second Japan - US Governmental Conference On drinking water Quality Management, July 24-26, 1990, Tokyo, Japan
4. Sawyer, C.N & P.L. McCarty. 1967. *Detergents, Chemistry For Sanitary Engineers*. Second Edition McGraw-Hill Book Company Tokyo.
5. Ainsworth, S.J. 1996. *Soaps and Detergent*. Chem. Eng. News.
6. Hoffman, R.J. & J.W. Bishop. 1994. *Impact of a Phosphate Detergent Ban on Concentration of Phosphorus in the James River*. Wat. Res. Virginia.
7. Fressenden, R.J. & J.S. Fressenden. 1984. *Organic Chemistry*. Brook & Cole Publishing Co. CA.
8. Swisher R.D. (1963) *Biodegradation of ABS in Relation to Chemical structure*.

- Journal Water Purification Control Federation (WPCF), Vol.35, No.7, July 1963.
9. Swisher R.D. (1970) *Surfactant Biodegradation*. Dekker, New York.
  10. Okpokwasili and Olisa (1991), *River-Water Biodegradation of surfactant in Liquid Detergents and Shampoos*. Water Research, Vol.25, No.11, pp.1425 to 1429, 1991.
  11. Said, N.I. 1995. *Study On Biological Degradation Of Anionic Detergent For Drinking Water Treatment Process*. Department of Environmental and Sanitary Engineering, Kyoto University, Japan
  12. Karigome,T. 1987. *The Methods of Surfactant Analysis*. New Edition. Saiwa Shobou-Japan
  13. APHA (American Public Health Association). 1985. *Standard Methods for the Examanation of Water and Wastewater*. 16<sup>th</sup> edition. New York
  14. Alerts, G dan S. S. Santika. 1987. *Metode Penelitian Air*. PT. Usaha Nasional, Surabaya.

































