

**PENGOLAHAN AIR YANG MENGANDUNG *LINEAR ALKYL BENZENE SULFONATE* (LAS) DAN AMONIA DENGAN KOMBINASI PROSES OZONASI GELEMBUNG MIKRO DAN FILTRASI MEMBRAN**

**LINEAR ALKYL BENZENE SULFONATE AND AMMONIA CONTAINING WATER USING COMBINED MICROBUBBLE OZONATION AND MEMBRANE FILTRATION**

**Setijo Bismo\*, Eva Fathul Karamah, Sutrasno, Sri Retno  
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok, Depok, 16424 Telp. (021) 7863516  
\*e-mail: bismo@che.ui.ac.id**

**Abstrak**

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengolah air yang mengandung senyawa *Linear Alkyl Benzene Sulfonate* (LAS) dan amonia adalah dengan proses ozonasi gelembung mikro dan filtrasi membran. Proses ini memanfaatkan keberadaan radikal hidroksida yang merupakan oksidator kuat yang mampu menguraikan senyawa organik dan anorganik bersifat racun dan sulit terurai di dalam air. Dari penelitian ini didapatkan bahwa proses ozonasi gelembung mikro dan filtrasi membran cukup efektif untuk menyisihkan senyawa LAS, namun tidak cukup efektif untuk menyisihkan senyawa amonia dalam air. Persentase penyisihan total LAS untuk konsentrasi awal 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L masing-masing diperoleh sebesar 89,82 %; 84,20% dan 81,49% dan amonia sebesar 17,07%.

Kata kunci: ozonasi, filtrasi membran, *linear alkyl benzene sulfonate*, amonia.

**Abstract**

One of the methods to treat water containing Linear Alkyl Benzene Sulfonate (LAS) and ammonia compounds is by advanced oxidation process and membrane filtration. These advanced oxidation process utilizing the presence of hydroxyl radicals which is a strong oxidant that can destroy the organic and inorganic compounds are toxic and difficult to break down in the water. From this research, it was found that advanced oxidation process and membrane filtration effective to remove Linear LAS, but ineffective to remove ammonia in the water. The total removal of linear alkyl benzene sulfonate was about 89,82 %; 84,20% and 81,49% for the initial concentration of 30 mg/L, 50 mg/L and 100 mg/L, respectively and 17,07% for ammonia.

Keywords: ozonation, membrane filtration, linear alkyl benzene sulfonate, ammonia.

## 1. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu elemen penting dalam kehidupan manusia. Bumi menyimpan cadangan air yang cukup besar yaitu berjumlah kira-kira 1,4 miliar km<sup>3</sup>. Namun, hanya sebagian kecil yang dapat dimanfaatkan yaitu sekitar 0,003% karena sebagian besar air (sekitar 97%) berupa air laut yang mengandung kandungan garam tinggi. Pencemaran air menyebabkan ketersediaan air semakin sulit.

Di antara senyawa polutan yang cukup banyak dijumpai pada air permukaan adalah LAS dan amonia. Senyawa LAS ini merupakan salah satu surfaktan deterjen yang konsentrasinya di perairan cukup tinggi karena keunggulannya dalam membersihkan, kestabilan kimia, kemudahannya terurai secara alami dan harganya yang ekonomis. Sedangkan amonia merupakan senyawa yang umum digunakan sebagai bahan baku dalam industri pupuk, industri karet, kertas dan plastik, serta terkandung dalam limbah domestik.

Berdasarkan penelitian, konsentrasi senyawa LAS ditemukan di salah satu sungai di Malang sebesar 20–30 mg/L (Estiningtyas, 2004) dan pada air limbah *laundry* sebesar 100,3 mg/L (Prasetyo, 2006). Sedangkan untuk konsentrasi amonia ditemukan di sungai Kaliabang Hilir mencapai 59,06 mg/L (Abid, 2003). Menurut KEPMENKES RI No. 907/MENKES/SK/VII/2002, kandungan LAS yang diperbolehkan untuk kualitas air minum sebesar 0,05 mg/L sedangkan untuk amonia sebesar 1,5 mg/L. Jika kandungan senyawa tersebut melebihi ketentuan yang ditetapkan akan membahayakan manusia dan lingkungan.

Ozonasi merupakan salah satu proses yang efektif untuk menguraikan senyawa-senyawa pencemar, termasuk LAS. Namun, ozon memiliki kelemahan yaitu kelarutan yang rendah, serta sifatnya yang selektif. Kelemahan ini dapat diatasi dengan memanfaatkan fenomena kavitasi. Kavitasi merupakan feno-

mena pembentukan, pertumbuhan dan hancurnya gelembung mikro dalam cairan. Kavitasi dapat meningkatkan perpindahan massa ozon ke air karena pembentukan gelembung mikro dan sirkulasi mikro cairan akibat pecahnya gelembung. Selain itu, kavitasi menghasilkan radikal hidroksil (radikal OH) karena dekomposisi termal uap air atau ozon yang terperangkap di dalam gelembung pada saat gelembung tersebut pecah. Radikal OH merupakan oksidator yang lebih kuat dan lebih reaktif daripada ozon dan bersifat non selektif. Radikal ini dapat bereaksi dengan hampir semua senyawa yang terlarut di dalam air. Pemanfaatan kavitasi pada proses ozonasi ini selanjutnya disebut ozonasi gelembung mikro.

Pada penelitian ini, proses ozonasi gelembung mikro menjadi perlakuan sebelum proses filtrasi menggunakan membran. Hal ini dimaksudkan untuk mengatasi masalah *fouling* membran dalam unit pengolahan air yang dapat menurunkan kinerja membran dan periode penggunaan membran. Ozon yang terlarut, atau hasil dekomposisinya dalam bentuk radikal OH, akan sampai pada permukaan serta pori-pori membran dan selanjutnya mengoksidasi zat organik dan anorganik pada membran, yang berpotensi membentuk *fouling* pada membran. Jenis membran yang dipilih yaitu membran mikrofiltrasi yang berbahan keramik karena memiliki daya tahan terhadap ozon paling baik dibandingkan bahan lainnya.

Kinerja proses ozonasi gelembung mikro dan filtrasi membran terhadap air yang mengandung senyawa LAS dan amonia dievaluasi berdasarkan beberapa parameter, yaitu persentase penyisihan LAS, persentase penyisihan amonia, pH, DO, penyisihan TDS, penyisihan COD, perubahan tekanan dan laju alir permeat (air tersaring).

## 2. METODA

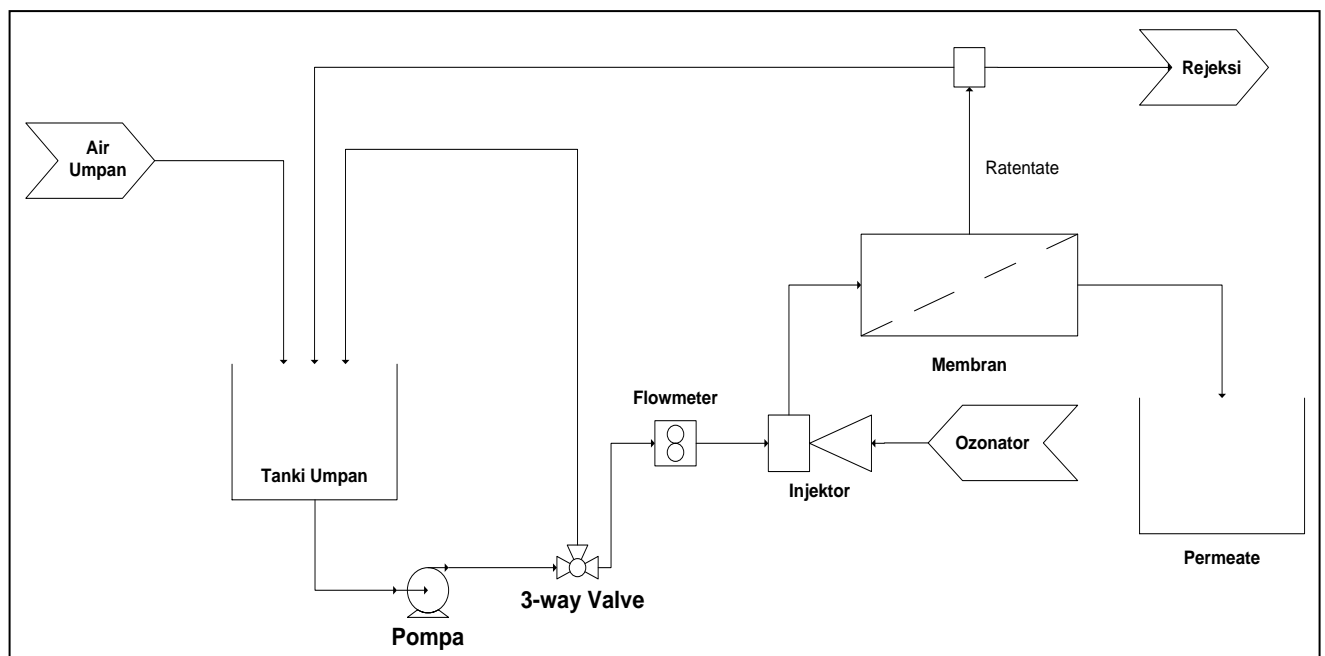
Proses ozonasi-filtrasi berlangsung pada rangkaian alat seperti terlihat pada Gambar 1.

Peralatan terdiri dari ozonator, injektor, membran, pompa dan tangki umpan serta tangki permeat. Ozonator yang digunakan yaitu ozonator komersial merk resun RSO 9508 dengan produktivitas ozon sebesar 0,1012 g/jam dan laju alir 1200 L/jam. Fenomena kavitasi dibangkitkan melalui injektor merk Mazzei untuk menginjeksikan gas yang mengandung ozon ke dalam air dalam bentuk gelembung mikro. Membran yang digunakan adalah membran mikrofiltrasi berbahan keramik yang memiliki daya tahan yang baik terhadap ozon. Pompa yang digunakan berbahan baja tahan karat (*stainless steel*), yang tahan terhadap ozon.

Air umpan yang mengandung polutan dipompakan ke unit pengolahan air dengan laju alir umpan sebesar 240 L/jam (Karamah, *et al.*, 2009). Keluaran gas dari ozonator diinjeksikan ke dalam aliran sistem melalui injektor. Campuran gas dan cairan ini kemudian dilewatkan ke membran. Permeat (keluaran produk) membran ditampung pada tangki permeat sedangkan aliran retentat (tertolak) membran dikembalikan ke tangki umpan

untuk diolah kembali. Proses ozonasi-filtrasi membran dilakukan bertingkat tiga (retentat hasil filtrasi dimasukkan lagi ke dalam tangki umpan untuk diproses kembali, daur ulang terhadap retentat dilakukan dua kali). Konsentrasi awal LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L, sedangkan untuk amonia sebesar 60 mg/L. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga titik, yaitu di awal, 20 menit dan 40 menit pada tiap tingkatan proses.

Analisis kandungan LAS dilakukan dengan menggunakan metode *Metilen Blue Active Substance* (MBAS) dan amonia dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometri secara fenat dengan panjang gelombang 640 nm. Parameter lain yang diukur adalah pH, DO, TDS dan COD. pH diukur dengan pH-meter, DO diukur dengan DO-meter dan TDS diukur dengan TDS-meter. COD dianalisis dengan metode spektrofotometri, yaitu dengan cara merefluks sampel selama dua jam pada suhu 150<sup>0</sup>C menggunakan larutan kalium dikromat dan asam sulfat selanjutnya diukur dengan menggunakan alat spektrofotometer pada  $\lambda = 420$  nm.



**Gambar 1.** Skema Alat Penelitian Proses Ozonasi-Filtrasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

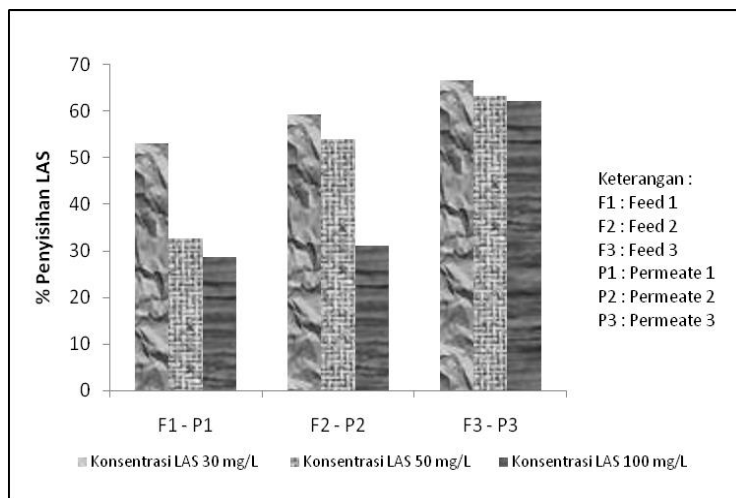
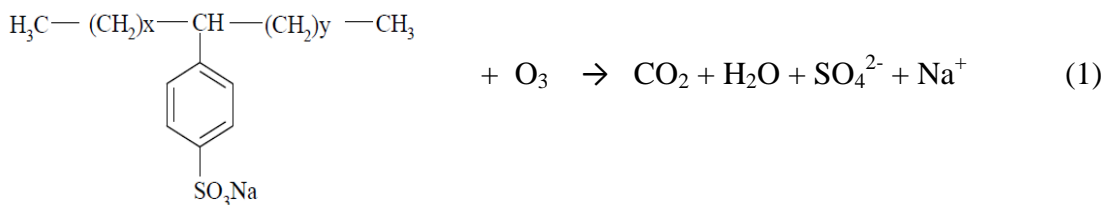
Uji Penyisihan LAS

Variasi konsentrasi dilakukan untuk melihat efektifitas proses ozonasi-filtrasi dalam menyisihkan air yang mengandung senyawa LAS. Gambar 2 menunjukkan persentase penyisihan senyawa LAS pada proses ozonasi-filtrasi. Penyisihan LAS dapat berjalan dengan baik ditunjukkan oleh konsentrasi LAS dari air permeat tingkat tiga sebesar 3,392 mg/L; 8,533 mg/L dan 17,481 mg/L untuk konsentrasi awal LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L dan persentase penyisihan total masing-masing sebesar 89,82%; 84,20% dan 81,49%. Peningkatan persentase penyisihan LAS dari tingkat 1 ke tingkat 3 dapat disebabkan oleh kondisi pH larutan umpan yang cenderung meningkat pula (Gambar 2).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kondisi pH mempengaruhi penyisihan LAS. Peningkatan pH mempengaruhi dekomposisi

ozon menjadi radikal OH sehingga meningkatkan persentase penyisihan LAS. Karena radikal OH merupakan oksidator yang lebih reaktif terhadap LAS daripada ozon, pada saat pH dinaikkan LAS akan dioksidasi dengan cepat (Beltran *et al.*, 2000).

Gambar 2 juga menunjukkan penurunan persentase penyisihan LAS dengan kenaikan konsentrasi awal LAS. Hal ini disebabkan oleh dosis ozon yang sama untuk setiap konsentrasi sehingga kebutuhan ozon dalam air semakin tidak mencukupi untuk konsentrasi LAS yang makin tinggi. Selain itu, pada konsentrasi awal LAS 100 mg/L, kondisi membran akan bekerja lebih berat dibandingkan konsentrasi LAS yang lebih rendah. Hal ini karena adanya *fouling* pada membran yang lebih banyak yang disebabkan oleh akumulasi senyawa-senyawa organik, partikulat atau pengotor lainnya pada permukaan membran. Secara sederhana reaksi antara ozon dengan LAS adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Persentase Penyisihan LAS Pada Proses Ozonasi-Filtrasi

Berdasarkan Persamaan 1, untuk mengoksidasi LAS sebesar 30 mg/L menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dibutuhkan ozon sebesar 68,25–72,26 mg  $\text{O}_3/\text{L}$ , sedangkan ozon yang terdapat di dalam air terdapat 0,384 mg/L, tetapi dengan adanya kavitasasi pada proses oksidasi lanjut dapat meningkatkan konsentrasi radikal OH yang cukup efektif untuk menyisihkan senyawa LAS.

Permeat tingkat tiga yang merupakan air hasil olahan dari proses ini memiliki konsentrasi LAS sebesar 3,392 mg/L; 8,533 mg/L dan 17,481 mg/L untuk konsentrasi awal LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L. Jika dilihat berdasarkan parameter nilai deterjen untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002, nilai deterjen maksimum yang diperbolehkan sebesar 0,05 mg/L. Hasil yang diperoleh berada di atas batas maksimum, artinya permeat dari hasil proses ini belum memenuhi persyaratan kualitas air minum. Perlu adanya pengolahan kembali atau pengkondisian pada unit pengolahan air.

### Uji Penyisihan Amonia

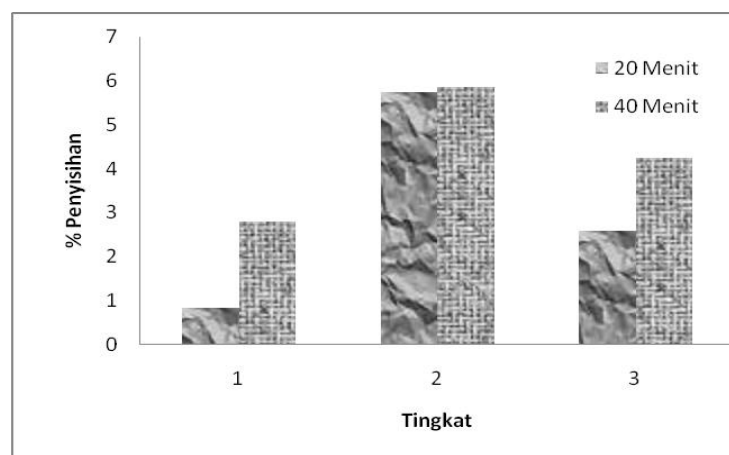
Gambar 3 menunjukkan persentase penyisihan senyawa amonia yang sangat kecil yaitu untuk tingkat satu sebesar 2,79 %, tingkat dua sebesar 5,86 % dan tingkat tiga sebesar 4,32 %. Penyisihan senyawa amonia ini sebagai

akibat reaksi antara ozon dengan amonia yang membentuk senyawa nitrat (Langlais *et al.*, 1991).

Reaksi  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  dengan ozon berlangsung sangat lambat ( $k_{\text{O}_3} = 20/\text{M.s}$ ), sedangkan proses oksidasi oleh radikal OH dapat berlangsung lebih cepat ( $k_{\text{OH}} = 9,7 \times 10^7/\text{M.s}$ ) (Von Gunten, 2003). Reaksi oksidasi yang terjadi yaitu amonia akan dioksidasi oleh radikal OH membentuk  $\text{NO}_3^-$ .

Penurunan konsentrasi amonia relatif lebih kecil dibandingkan dengan penurunan konsentrasi LAS. Hal ini dikarenakan ozon kurang reaktif terhadap senyawa amonia. Penurunan pada konsentrasi amonia yang terjadi kemungkinan disebabkan reaksi antara ozon atau radikal OH terjadi pada pH kurang dari 8.

Permeat tingkat tiga yang merupakan air hasil olahan dari proses ini memiliki konsentrasi sebesar 42,763 mg/L untuk konsentrasi awal amonia 60 mg/L. Jika dilihat berdasarkan parameter nilai amonia untuk air minum menurut KEPMENKES No. 907/MENKES-/SK/VII/2002, nilai amonia maksimum yang diperbolehkan sebesar 1,5 mg/L, hasil tersebut berada di atas 1,5 mg/L, artinya air hasil olahan proses ini belum memenuhi persyaratan kualitas air minum.



**Gambar 3.** Persentase Penyisihan Amonia Pada Proses Ozonasi-Filtrasi

**Parameter Kualitas Air Lain**

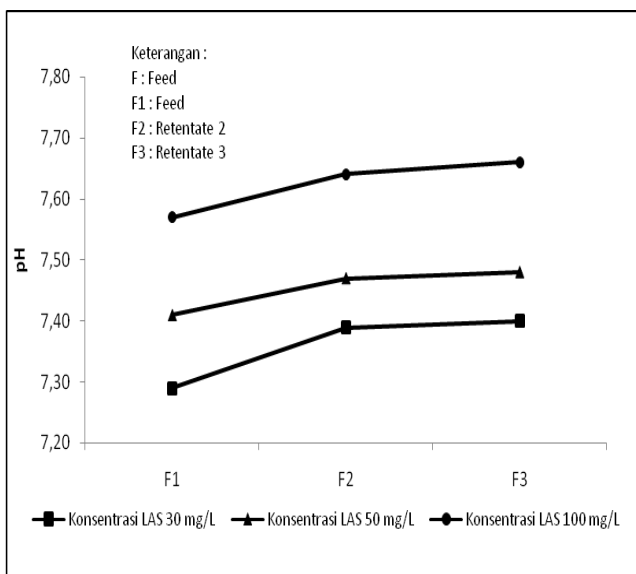
Parameter kualitas air lain yang dievaluasi pada penelitian ini adalah pH, DO, TDS dan COD. Pengaruh proses ozonasi-filtrasi terhadap parameter-parameter tersebut dijelaskan pada paragraf-paragraf berikut ini.

Gambar 4 menunjukkan perubahan pH selama proses berlangsung. Nilai pH cenderung meningkat pada umpan (Gambar 4a) dan menurun pada permeate (Gambar 4b). pH pada umpan berkisar antara 7,2–7,7 sedangkan pada permeate berkisar antara 7,1–7,5. Hal tersebut disebabkan air pada permeate yang merupakan hasil proses ozonasi dan filtrasi mengandung senyawa antara hasil oksidasi LAS yang sebagian besar bersifat asam seperti senyawa yang memiliki gugus aldehyd, keton dan asam karboksilat, yaitu asam maleat, asam mukonat, asam oksalat, asam gliksalat dan asam formiat dari hasil oksidasi gugus benzena pada LAS serta oksidasi gugus sulfonat dan hidrokarbon rantai lurus.

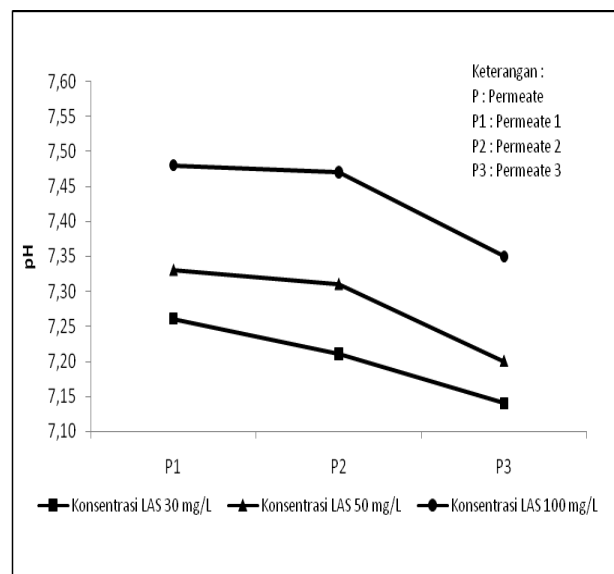
Kondisi pH mempengaruhi proses ozonasi karena nilai pH merupakan variabel penting dalam dekomposisi ozon. Pada pH antara 4 – 9 reaksi penyisihan LAS terjadi melalui reaksi

langsung dengan ozon dan tidak langsung dengan radikal OH yang merupakan hasil dekomposisi ozon. Senyawa LAS bereaksi lambat dengan ozon ( $k_0 = 3,68/M.s$ ), namun bereaksi cepat dengan radikal OH ( $k_{OH} = 1,16.10^{10}/M.s$ ) (Beltran, et.al., 2000). Reaksi antara radikal OH dengan gugus sulfonat, gugus benzena dan gugus hidrokarbon pada rantai lurus yang terdapat pada senyawa LAS berlangsung cepat sehingga akan meningkatkan penyisihan LAS.

pH pada air umpan yang mengandung senyawa amonia berkisar antara 7,2 – 7,7. Pada rentang ini, terjadi reaksi langsung dan tidak langsung dengan ozon. Gambar 5 menunjukkan perubahan pH pada pengolahan senyawa amonia dengan proses ozonasi-filtrasi. Pada awal proses sebelum terjadi reaksi dengan amonia terjadi kenaikan pH, karena pada pH 6 amonia masih dalam kationnya. Terjadinya reaksi antara ozon dengan amonia salah satunya adalah ditandai dengan turunnya pH larutan. Penurunan pH larutan ini disebabkan oleh terbentuknya anion nitrat ( $NO_3^-$ ). Pembentukan ini bersifat asam sehingga dapat mempengaruhi pH larutan.

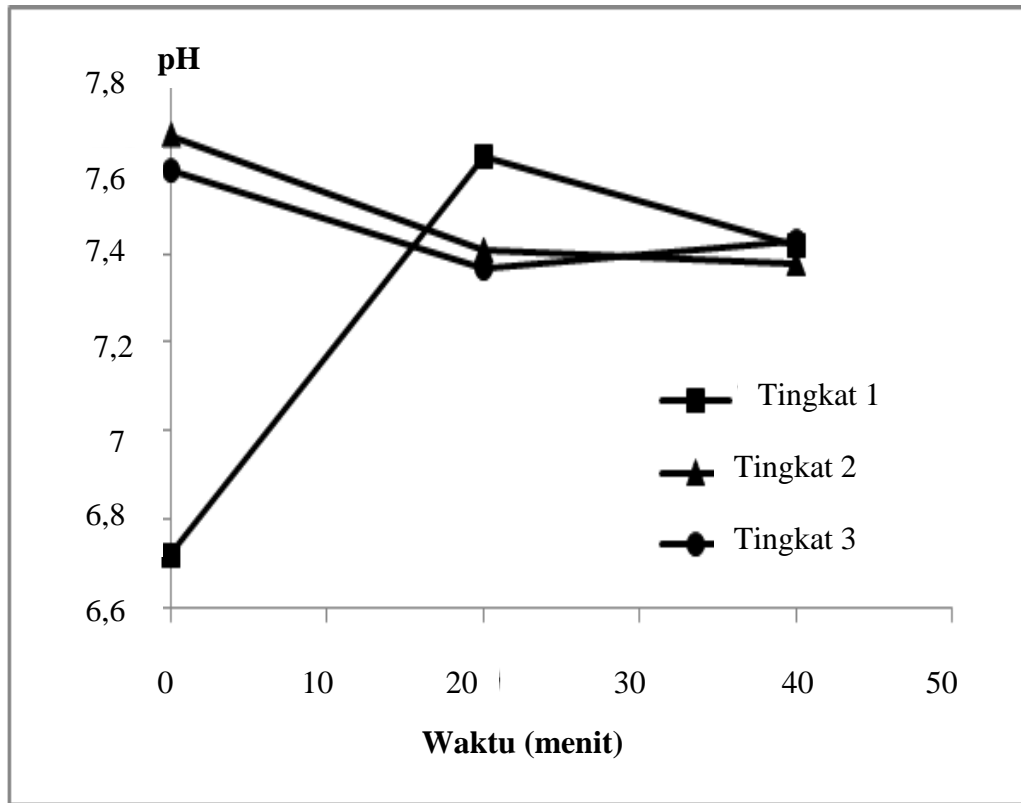


(a)

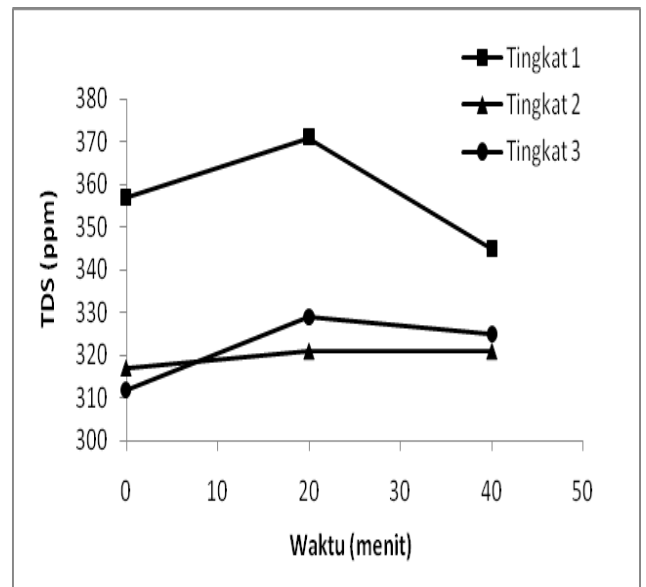
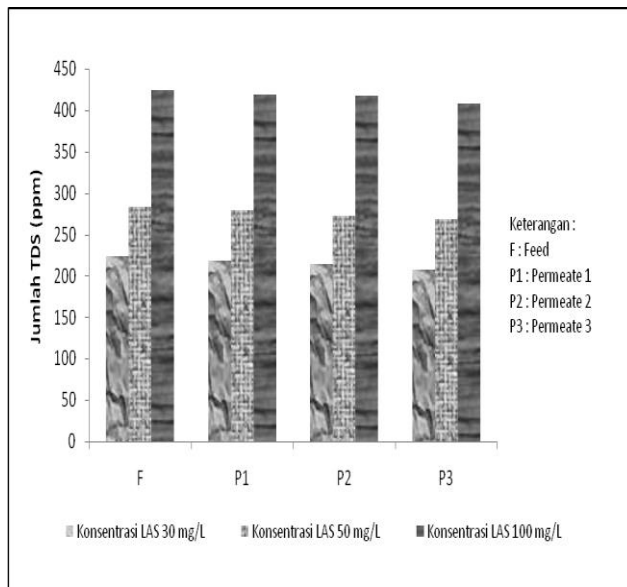


(b)

**Gambar 4.** Perubahan pH Umpan (a) dan permeate (b) pada proses ozonasi – filtrasi senyawa LAS



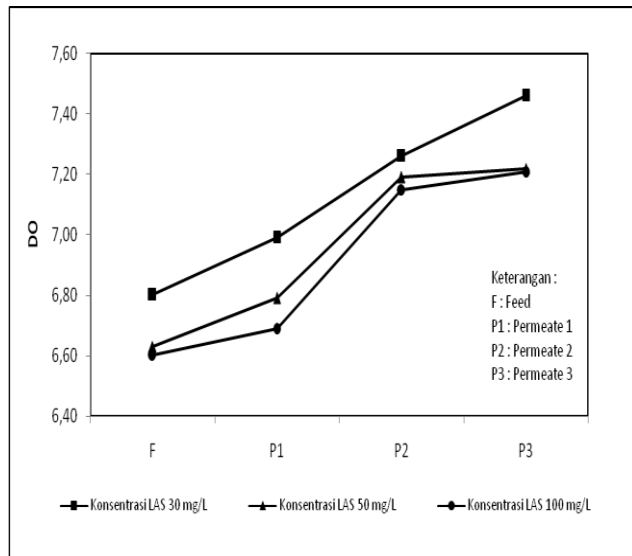
Gambar 5. Pengaruh Proses Ozonasi-Filtrasi Senyawa Amonia Terhadap pH Larutan



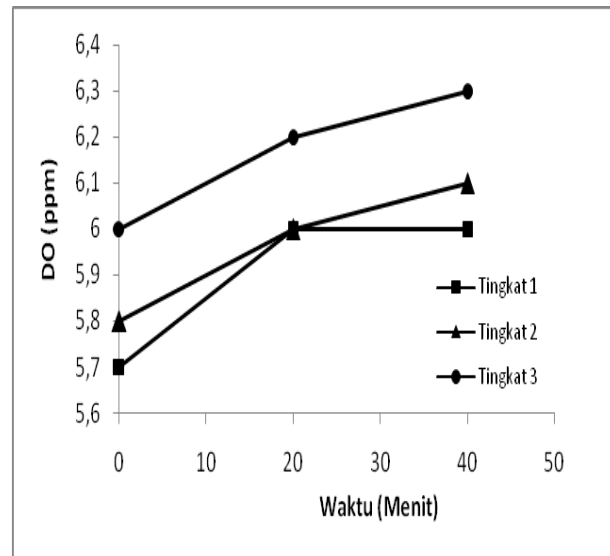
(a)

(b)

Gambar 6. Perubahan TDS Pada Proses Ozonasi-Filtrasi Untuk Senyawa LAS (a) dan Amonia (b)



(a)



(b)

**Gambar 7.** Perubahan DO pada proses ozonasi-filtrasi senyawa LAS (a) dan amonia (b)

Pada tingkat satu terlihat kenaikan pH larutan yaitu dari 6,72 menjadi 7,62, pada pH tersebut hanya terjadi sedikit penurunan konsentrasi amonia yaitu sekitar 50 mg/L, hal ini menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil amonia yang bereaksi dengan ozon. Akan tetapi pada tingkat dua dimana pH larutan awal sudah naik menjadi 7,67 dan mengalami penurunan menjadi pH 7,41, ini menunjukkan bahwa terbentuknya anion nitrat dari reaksi antara amonia dengan ozon.

Gambar 6a menunjukkan penurunan jumlah TDS pada tiap tingkat yang tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan senyawa LAS belum teroksidasi secara sempurna menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  sehingga masih terdapat produk antara (asam maleat, asam mukonat, asam oksalat, asam glioksalat dan asam formiat) pada permeat. Hal ini juga ditunjukkan adanya penurunan pH pada permeat yang berasal dari senyawa-senyawa tersebut (dapat dilihat pada Gambar 4b). Berdasarkan salah satu penelitian dinyatakan bahwa senyawa aldehid dan keton yang merupakan produk antara hasil oksidasi senyawa organik dengan ozon atau radikal OH dapat berada pada permeat setelah melewati membran mikro-

filtrasi dengan pralakuan ozonasi (Masten *et al.*, 2009).

Selain itu, membran mikrofiltrasi tidak mampu menyisahkan ion natrium dan sulfat yang merupakan hasil oksidasi gugus sulfonat dengan radikal OH serta ion-ion lainnya yang mungkin ada pada air limbah sehingga dapat lolos dari membran. Konsentrasi LAS yang semakin meningkat akan semakin meningkatkan jumlah TDS. Hal ini disebabkan akan semakin banyak ion-ion dan produk antara yang dihasilkan dari reaksi antara ozon atau radikal OH dengan senyawa LAS yang terdapat pada air limbah serta ion-ion yang terdapat pada air sumur jika konsentrasi LAS semakin besar.

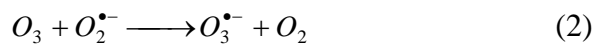
Gambar 6b menunjukkan bahwa terjadi kenaikan jumlah TDS pada tiap tingkat untuk senyawa amonia yang tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan oleh anion  $\text{NO}_3^-$  yang terbentuk dari reaksi antara amonia dengan ozon, serta kation dan anion lainnya yang ada dalam larutan. Adanya jumlah ion-ion dalam larutan tersebut menyebabkan terjadinya kenaikan jumlah TDS. Hal ini disebabkan membran keramik yang digunakan tidak dapat



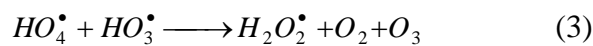
menyaring sejumlah padatan terlarut yang diameternya kurang dari 0,9  $\mu\text{m}$ .

Gambar 7 menunjukkan kecenderungan peningkatan kadar DO pada proses ozonasi – filtrasi. Oksigen yang terlarut dalam air dapat diperoleh dari reaksi tidak langsung ozon dimana ozon terdekomposisi menjadi  $\text{O}_2$ . Adapun reaksinya adalah sebagai berikut (Beltran, 2004):

Tahap inisiasi :



Tahap terminasi:



Kondisi ozon yang tidak stabil memungkinkan terbentuknya gas oksigen sehingga kadar DO dalam air meningkat. Kondisi lain juga dapat meningkatkan oksigen terlarut yaitu gas oksigen yang ada pada lingkungan dapat terlarut dalam air yang juga dapat menembus membran sehingga mempengaruhi pengukuran.

COD merupakan parameter yang umumnya digunakan untuk mengetahui tingkat konsentrasi pencemar di dalam air limbah selama pengolahan air berlangsung. Gambar 8 menunjukkan penurunan COD dari setiap tahap yang dilakukan pada proses ozonasi – filtrasi. Hal ini disebabkan oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat yang ada di dalam air melalui oksidasi kimia menurun, kondisi ini juga menunjukkan adanya penyisihan senyawa LAS dari proses ozonasi–filtrasi.

Penurunan ini dipengaruhi oleh reaksi antara ozon dan senyawa LAS yang berlangsung lambat ( $k_{\text{O}_3} = 3,68/\text{M.s}$ ), namun bereaksi cepat dengan radikal hidroksil ( $k_{\bullet\text{OH}} = 1,16 \cdot 10^{10}/\text{M.s}$ ) yang merupakan hasil dekomposisi dari ozon (Beltran *et al.*, 2000). Kisaran pH pada penelitian ini adalah antara

7,2-7,7 sehingga akan terjadi reaksi langsung dan tidak langsung dengan ozon. Reaksi oksidasi langsung oleh ozon dalam air merupakan reaksi molekul ozon dengan dengan ikatan tak jenuh dan akan memicu terjadinya pemecahan ikatan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kondisi pH yang lebih basa akan meningkatkan penyisihan COD (al-Kdasi *et al.*, 2004).

### Kinerja Membran Pada Pengolahan Senyawa LAS

Parameter yang digunakan untuk melihat kinerja membran adalah  $\Delta\text{P}$  dan laju alir permeat. Pada percobaan ini akan dievaluasi proses ozonasi gelembung mikro sebagai pengendali *fouling*. Gambar 9 menunjukkan (a)  $\Delta\text{P}$  dan laju permeat (b) pada membran. Gambar 9a menunjukkan  $\Delta\text{P}$  yang cenderung meningkat dari proses ozonasi–filtrasi. Hal ini disebabkan *fouling* pada membran yang disebabkan oleh zat–zat organik, partikulat, virus, alga maupun bakteri. *Fouling* pada membran ini menyebabkan tahanan pada membran meningkat sehingga  $\Delta\text{P}$  membran cenderung meningkat. Peningkatan konsentrasi awal LAS disertai dengan penurunan  $\Delta\text{P}$  membran. Hal ini dapat disebabkan *fouling* yang terbentuk lebih banyak berada pada konsentrasi yang lebih tinggi karena terakumulasinya senyawa-senyawa organik pada permukaan membran.

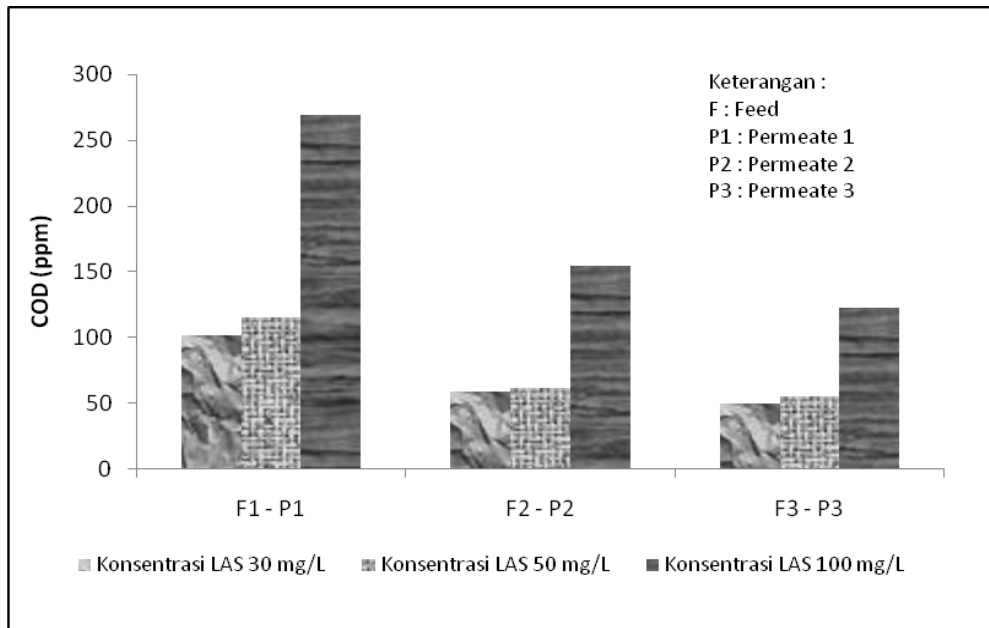
Gambar 9b menunjukkan penurunan laju permeat pada membran. Hal ini disebabkan semakin lama waktu operasi mikrofiltrasi, semakin banyak *fouling* yang terjadi pada membran. *Fouling* ini semakin lama akan semakin meningkat yang membuat kerja membran menjadi semakin berat.

### Kinerja Membran Pada Pengolahan Senyawa Amonia

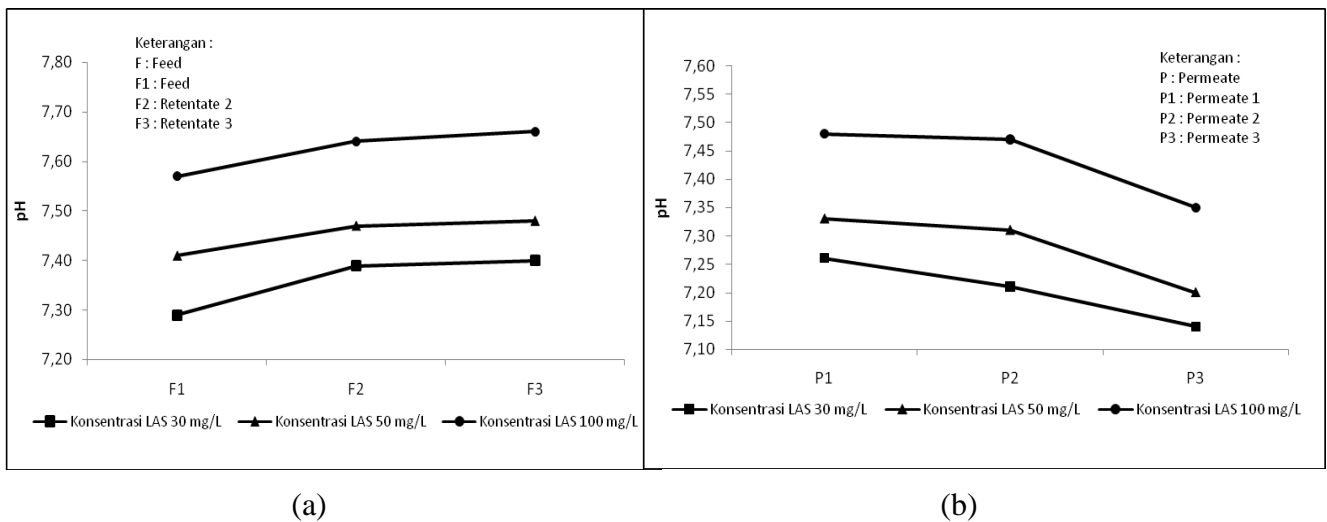
Gambar 10a menunjukkan peningkatan  $\Delta\text{P}$  yang diakibatkan adanya *fouling* oleh senyawa-senyawa organik yang tertahan pada membran dan senyawa-senyawa hasil oksidasi oleh ozon lainnya. Peningkatan  $\Delta\text{P}$  di

setiap tingkatnya, yaitu pada tingkat satu sebesar 0,384 bar (20 menit) dan pada tingkat tiga (menit ke-40) sebesar 0,419 bar, pada tingkat tiga  $\Delta P$  yang terjadi semakin meningkat hal ini diakibatkan oleh akumulasi *fouling* pada tingkat satu dan tingkat dua. Gambar 10b menunjukkan laju permeat yang

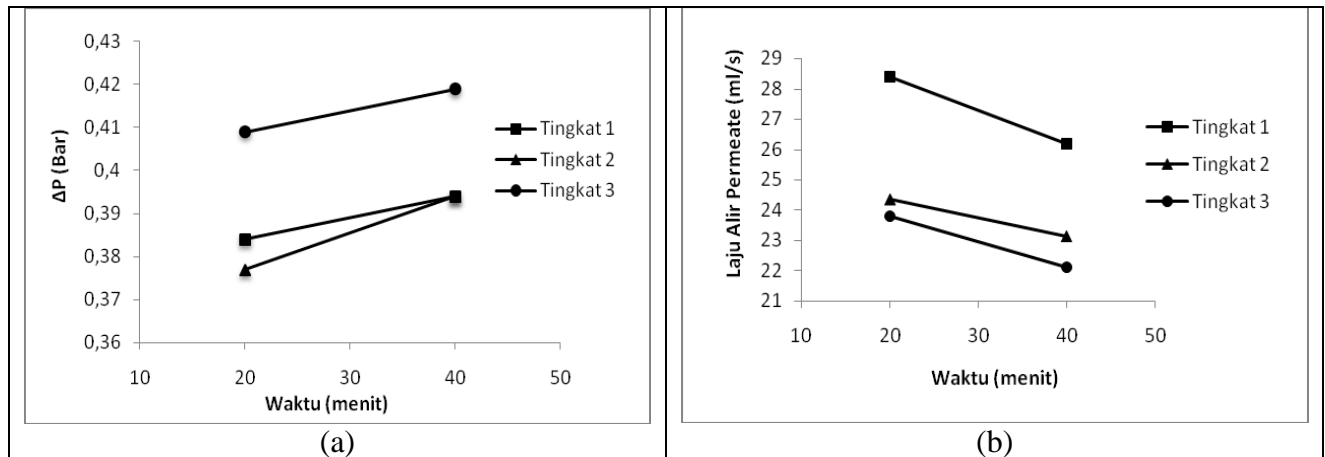
dihasilkan semakin menurun dengan meningkatnya  $\Delta P$ . Pada proses ini penyisihan senyawa amonia tidak terlalu besar selain disebabkan oleh kurang reaktifnya senyawa amonia terhadap proses oksidasi lanjut. Hal ini ditandai dengan masih besarnya senyawa amonia yang tersisa pada air permeat.



Gambar 8. Penyisihan COD Pada Proses Ozonasi-Filtrasi Senyawa LAS



Gambar 9. Hubungan  $\Delta P$  (a) dan laju permeate (b) pada membran untuk penyisihan LAS dengan proses ozonasi dan filtrasi.



**Gambar 10.** Hubungan  $\Delta P$  (a) dan laju permeat (b) pada membran untuk penyisihan amonia dengan proses ozonasi dan filtrasi

#### 4. KESIMPULAN

Proses ozonasi dan filtrasi membran cukup efektif untuk menyisihkan senyawa LAS, namun belum cukup efektif untuk menyisihkan senyawa amonia. Penyisihan total LAS untuk konsentrasi awal LAS 30 mg/L, 50 mg/L dan 100 mg/L masing-masing diperoleh sebesar 89,82%; 84,20% dan 81,49%. Penyisihan total amonia untuk konsentrasi awal 60 mg/L diperoleh sebesar 17,07%. Penggunaan ozon dalam proses penyisihan LAS dan amonia menyebabkan adanya *fouling*. Terjadinya *fouling* ini ditunjukkan oleh meningkatnya  $\Delta P$  dan menurunnya laju permeat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abid (2003). Selamatkan Sungai di Indonesia Terapkan Pajak Bagi Pencemar. Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi Lahan Basah. 14 Mei 2003.
- Al-Kdasi, Adel., Azni Idris, Katayon Saed and Chuah Teong Guan. (2004). Treatment of Textile Wastewater by Advanced Oxidation Process—a Review. *Global Nest : the Int. Journal*. 6(3). 222-230.
- Langlais, B., D.A. Reckow, D.R. Brink (1991). Ozone in Water Treatment, Application and Engineering. Lewis Publisher. Chelsea.
- Beltran, Fernando J (2004). Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Treatments. Lewis Publishers. Florida,.
- Beltran, Fernando J., Juan F. Garcia-Araya and Pedro M. Alvarez (2000). Sodium Dodecylbenzenesulfonate Removal from Water and Wastewater 1. Kinetics of Decomposition By Ozonation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 39. 2214-2220.
- Estiningtyas (2004). Uji Toksisitas Akut Surfaktan Deterjen dan Lama Pendedahan Terhadap Kepiting Sungai. Skripsi Sarjana. Jurusan Biologi, Universitas Muhammadiyah Malang. Indonesia.
- Gunten, Urs von (2003). Ozonation of Drinking Water : Part I. Oxidation Kinetics and Products Formation. *Water Research*. 37. 1443-1467.
- Karamah, Eva F., Setijo Bismo, and Fahrur Rozi (2009). Removal of Iron and Manganese Using Micro Bubbles Ozonation and Membrane Filtration. *Proceeding of National Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (1<sup>st</sup> APTECS)*. 22 Dec. 2009.

Masten, Susan J., Simon H.R. Davies, Melissa Baumann and Bhavana Karnik. (2009). Ceramic Membran Water Filtration. *United States Patent* No. 7578939B2. 25 Agustus 2009.

Prasetyo, Heru (2006). Perbedaan Penurunan Kadar Deterjen Antara Filtrasi Media Karbon Aktif dan Proses Antifoaming pada Air Limbah *Laundry*. Skripsi Sarjana. Jurusan Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro. Indonesia.