

## **Pemanfaatan Reaktor Membran Fotokatalitik dalam Mendegradasi Fenol dengan Katalisis TiO<sub>2</sub> dengan Adanya Ion Logam Fe(III) dan Cu(II)**

Oleh :

Dra. Ana Hidayati Mukaromah, MSi (1)  
RM. Bagus Irawan, ST MSi, IPP (2)

(1) *Dosen Fakultas Ilmu Kesehatan dan Keperawatan Universitas Muhammadiyah Semarang*

(2) *Dosen Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang*

### **ABSTRAK**

*Limbah Rumah Sakit merupakan salah satu sumber pencemar lingkungan yang perlu diwaspadai dan perlu ditangani secara lebih khusus serta spesifik mengingat dampak negatifnya bagi manusia dan lingkungan hidup. Limbah cair Rumah Sakit dapat berasal dari laboratorium Mikrobiologi, laboratorium Kimia Klinik, laboratorium Hematologi, ruang Operasi, dan ruang Instalasi lain. Penggunaan kreolin dan krisol sebagai desinfektan (fenol kurang lebih 15%), penggunaan fenol sebagai antiseptic eksteren dan baku pengenceran fenol dalam penentuan koefisien fenol (KF) terhadap daya sterilisasi peralatan terutama dari laboratorium Mikrobiologi dan ruang operasi, menyebabkan fenol potensial sebagai sumber pencemar dari limbah cair Rumah Sakit.*

*Limbah cair senyawa organik seperti logam Fe(III), Cu(II) maupun senyawa organik seperti fenol tersebut merupakan polutan yang mempunyai toksisitas yang tinggi dan bersifat karsinogen (pemicu kanker) yang menjadi salah satu limbah berbahaya di rumah sakit. Menurut peraturan Daerah Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah, Rumah Sakit tidak boleh mengandung fenol sama sekali, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menurunkan atau menghilangkan fenol dari air limbah tersebut.*

*Tujuan penelitian ini adalah mendesain suatu teknologi pengolahan limbah cair dengan membran fotokatalitik dalam mendegradasi fenol dari limbah cair Rumah Sakit yang terkatalisis TiO<sub>2</sub> dengan adanya ion logam seperti Fe(III) dan Cu(II) secara alamiah dan sinergis. Penelitian ini dilakukan dengan berbagai varian untuk mengetahui kondisi optimum degradasi fenol dengan katalis dan membran fotokatalitik seperti konsentrasi larutan fenol (100-400 mg/L), jumlah katalis (100-300 mg/L), pH larutan (6-10), waktu reaksi dalam reaktor (25-75 jam), sehingga dihasilkan teknologi membran fotokatalitik dalam mendegradasi fenol dengan katalis TiO<sub>2</sub> dan adanya ion Fe(III) (50-159 mg/L), dan Cu(II) (1-30 mg/L) yang sesuai dengan kondisi optimasi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dalam skala laboratorium.*

*Hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa teknologi membran fotokatalitik dapat mendegradasi Fenol cukup signifikan.*

**Kata Kunci : Membran Fotokatalitik, Fenol, Katalis TiO<sub>2</sub>, ion Fe(III) dan Cu (II)**

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan industri di Indonesia selain membawa keuntungan juga membawa dampak negatif bagi lingkungan sekitar misalnya pencemaran oleh limbah industri dimana limbah industri ini dapat berbentuk cair, padat, dan gas. Limbah cair dapat berupa senyawa organik seperti logam Fe(III), Cu(II) maupun senyawa organik seperti fenol. Senyawa fenol merupakan polutan yang mempunyai toksisitas yang tinggi dan bersifat karsinogen (pemicu kanker). Menurut peraturan Daerah Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit tidak boleh mengandung fenol sama sekali, sehingga perlu dilakukannya berbagai penelitian untuk menurunkan atau menghilangkan fenol dari air limbah.

Limbah cair Rumah Sakit dapat berasal dari laboratorium Mikrobiologi laboratorium, laboratorium Kimia Klinik, laboratorium Hematologi, ruang Operasi, dan ruang Instalasi lain. Penggunaan kreolin dan krisol sebagai desinfektan (fenol kurang lebih 15%), penggunaan fenol sebagai antiseptic eksteren dan baku pengenceran fenol dalam penentuan koefisien fenol (KF) terhadap daya sterilisasi peralatan terutama dari laboratorium Mikrobiologi dan ruang operasi, menyebabkan fenol potensial sebagai sumber pencemar dari limbah cair Rumah Sakit.

Pada dasarnya fenol dapat terdegradasi secara alamiah oleh cahaya matahari (fotodegradasi), namun berlangsung secara lambat sehingga mengakibatkan akumulasi yang lebih cepat dari pada degradasinya. Peningkatan efektivitas fotodegradasi fenol dapat dilakukan dengan menggunakan fotokatalis seperti  $\text{TiO}_2$  dan adanya ion logam Fe(III) dan Cu(II). Masalah yang timbul dengan digunakannya katalis  $\text{TiO}_2$  adalah adanya  $\text{TiO}_2$  yang masih berada dalam limbah yang terdegradasi, sehingga diperlukan pengambilan katalis  $\text{TiO}_2$  yang dapat dipergunakan kembali dalam proses fotokatalik. Oleh karena itu diperlukan adanya pembuatan membran fotokatalik untuk memisahkan katalis  $\text{TiO}_2$ , molekul-molekul hasil degradasi dan dapat dihasilkan air yang dapat digunakan kembali untuk keperluan industri setelah proses degradasi dengan fotokatalisis.

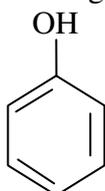
## **STUDI PUSTAKA**

### **1. Limbah Cair**

Air limbah adalah kotoran dari masyarakat, rumah tangga, dan dari industri, dan buangan lainnya. Komposisi dan karakteristik air limbah sebagian besar terdiri dari air (99,9%) dan sisanya zat padat. Zat padat yang ada terbagi atas 70% zat organik (protein, karbohidrat dan lemak) dan 30% anorganik terutama garam dan logam-logam. Sifat air limbah dibedakan menjadi 3 bagian yaitu sifat fisik seperti kandungan zat padat, bau, warna dan temperature, sifat kimia meliputi bahan kimia organik seperti fenol, protein, karbohidrat, lemak, minyak, dan surfaktan, dan sifat biologis seperti mikroorganisme bakteri, jamur, ganggang, protozoa, virus, dan sebagainya. Tujuan pengolahan air limbah adalah untuk menghilangkan atau mengurangi nutrient beracun serta zat lainnya yang sukar dibiodegradasi.

## 2. Fenol

Senyawa fenol dan turunannya misalnya p-klorofenol, dalam perairan diketahui sebagai polutan yang berbahaya karena bersifat karsinogenik (pemicu kanker) dan beracun (U.S. EPA, 1996). Senyawa p-klorofenol atau 4-klorofenol merupakan fenol yang tersubstitusi oleh klor pada posisi para yang mempunyai rumus molekul  $C_6H_4OHCl$  sebagai berikut:



Pembakaran terhadap senyawa p-klorofenol akan menghasilkan HCl dan  $Cl_2$  yang bersifat racun dan korosif. Senyawa para-klorofenol sangat berbahaya bagi manusia, antara lain jika terhirup dapat mengganggu pernapasan, kontak dengan mata dapat menyebabkan iritasi, jika kontak dengan kulit dapat menyebabkan kulit melepuh dan sangat beracun jika tertelan. Tindakan pencegahan untuk keselamatan adalah setelah kontak dengan kulit, maka kulit harus segera dicuci dengan air yang cukup.

Senyawa fenol dapat mengalami oksidasi sehingga dapat berperan sebagai reduktor. Fenol dan p-klorofenol teroksidasi sebenarnya dapat mengalami biodegradasi oleh karena adanya bakteri tertentu, namun pada umumnya semakin banyak jumlah klor yang terikat pada fenol, maka laju biodegradasi aerobik semakin menurun. Senyawa p-klorofenol dalam suasana asam lebih mudah melepaskan ion klorida dari pada suasana basa, sehingga pada suasana asam p-klorofenol lebih mudah menjadi senyawa fotoaktif dan mudah terdegradasi menjadi senyawa lain yang lebih sederhana. Senyawa p-klorofenol dapat mengalami reaksi fotooksidasi menjadi hidrokuinon, p-benzokuinon, p-klorokatekol dan asam-asam karboksilat, dan jika fotodegradasi berlangsung secara sempurna maka akan menghasilkan  $CO_2$ , HCl, dan  $H_2O$  (Hoffman et., 1997; Alemany et al., 1997; dan Burrows et al., 1998).

Usaha penanganan fenol dalam skala laboratorium telah banyak dilakukan, antara lain dengan cara fisika, biologi dan kimia. Secara fisika antara lain dengan cara adsorpsi menggunakan karbon aktif (Hu et al., 2000) dan zeolit alam (sulistiyani dkk., 2000). Metode adsorpsi dengan adsorben karbon aktif merupakan metode yang relatif sederhana dan efektif, namun memerlukan biaya mahal. Selain itu, jika adsorben tersebut telah jenuh dengan fenol, maka bahan ini akan menjadi limbah padat. Penanganan fenol secara biologi dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis mikroorganisme. Penggunaan mikroorganisme *Clostridium sp.*, *Methanospirillum hungatii*, dan *Methanosarcina bakteri*, yang bekerja pada kondisi anaerob dapat mendegradasi 2,2-diklorofenol menjadi gas metana dan gas karbon dioksida. Selain itu biodegradasi dengan mikroorganisme *Atrobacter sp.* dan *Pseudomonas sp.* pada kondisi aerob dapat mendegradasi p-klprofenol menjadi  $CO_2$  dan  $H_2O$ . Degradasi klorofenol secara biologi (biodegradasi)

pada kondisi aerob maupun anaerob memerlukan waktu yang relatif lama (Sulfito dan Miller dalam Chauldry, 1994)

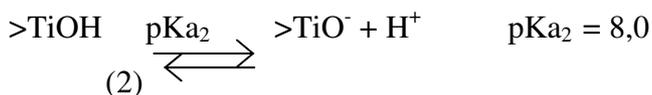
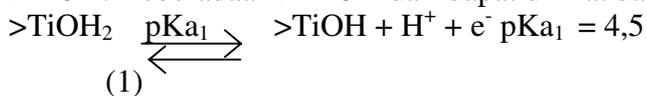
Degradasi korofenol secara kimia dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah oksidasi. Oksidasi yang digunakan antara lain ozon (Prado et al., 1994 dan Jung, 2001) dan hydrogen peroksida (zepp et al., 1992 dan Ghaly et al, 2001), yang sangat efektif untuk pemecahan cincin benzene. Metode oksidasi biasanya kurang ekonomis karena memerlukan jumlah oksigen yang banyak, dan menghasilkan limbah bahan kimia.

Oleh karena itu, maka metode kimia lain dikembangkan untuk menurunkan fenol dan turunannya adalah metode fotodegradasi secara alamiah yaitu proses peruraian dengan menggunakan energi foton yang dapat berasal dari matahari maupun lampu UV. Proses fotodegradasi secara alamiah (dengan cahaya matahari) biasanya berlangsung lambat, sehingga telah dikembangkan berbagai macam fotokatalis untuk mempercepat proses fotodegradasi tersebut, antara lain  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdS}$  dan  $\text{TiO}_2$ . Penggunaan  $\text{TiO}_2$  untuk mempercepat reaksi fotodegradasi fenol telah dilaporkan oleh Hoffmann et al. (1997).

### 3. Fotokatalis $\text{TiO}_2$

Metode kimia yang telah dilaporkan adalah fotodegradasi terkatalisis oleh  $\text{TiO}_2$  (Piero, et el, 2001). Penggunaan fotokatalis tersebut telah dilaporkan dapat meningkatkan efektivitas reaksi fotodegradasi secara signifikan.

Sebagai fotokatalis, spesies aktif dari  $\text{TiO}_2$  dalam larutan berair adalah  $>\text{TiOH}$ . Keberadaan  $>\text{TiOH}$  dapat dilihat dari persamaan reaksi berikut :



Dari persamaan reaksi 1 dan 2 terlihat bahwa  $\text{TiOH}$  stabil pada pH 4,5 sampai dengan pH 8 (Hoffmann et al., 1997).

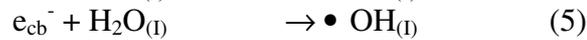
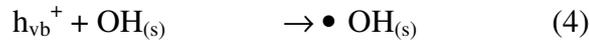
$\text{TiO}_2$  dapat dipergunakan antara lain sebagai pigmen dalam industri cat, pemutihan pada industri kosmetik, dan fotokatalis.  $\text{TiO}_2$  dapat berfungsi sebagai fotokatalis yaitu mempercepat reaksi yang diindikasikan oleh cahaya karena mempunyai struktur semikonduktor yaitu struktur elektronik yang dikarakterisasi oleh adanya pita valensi (valence band; vb) terisi dan pita konduksi (conduction band ; cb) yang kosong. Kedua pita tersebut dipisahkan oleh energi celah pita (band gap energy ;  $E_g$ ).  $E_g$   $\text{TiO}_2$  jenis *anatase* sebesar 3.2 eV dan jenis *rutile* sebesar 3.0 eV, sehingga jenis *anatase* lebih foto reaktif dari pada jenis *rutile* (Hoffmann et al., 1995; Fujishima et al., 1999).

Foto katalis yang berupa oksida logam mampu menyerap radiasi antara fotokatalis dengan air. Radikal OH ini merupakan oksidator yang kuat sehingga dapat menguraikan fenol dan turunannya secara cepat. Fotokatalis terjadi saat berlangsung transfer muatan radikal OH kedalam zat organik seperti fenol dan turunannya mudah sekali teroksidasi (Hofman, et al., 1997), yang dapat dituliskan sebagai berikut :

Pembentukan pembawa muatan oleh foton (cahaya) :



Pembentukan radikal OH :



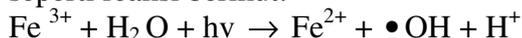
$>\text{TiO}_2$  mewakili permukaan fotokatalis,  $h_{\text{vb}}^+$  dan  $e_{\text{cb}}^-$  masing-masing adalah hole dan electron yang merupakan spesies fotoaktif,  $\text{OH}_{(\text{s})}$  merupakan gugus hidroksil pada permukaan katalis,  $h\nu$  merupakan energi radiasi yang berasal dari lampu UV/ visible atau cahaya matahari yang diserap oleh terbentuk pada permukaan katalis  $\bullet \text{OH}_{(\text{s})}$  dan  $\bullet \text{OH}_{(\text{l})}$  masing-masing adalah radikal OH yang terbentuk pada permukaan katalis dan dalam larutan.

Kombinasi proses fotokatalik dengan proses bioproses mulai dilakukan pada tahun 1999 seperti yang telah dilakukan oleh Ferhan Cecen dkk. Hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa biological treatment disarankan untuk ditempatkan sebelum proses fotokatalik. Tahun 2001 perkembangan penelitian kearah rancangan reactor semakin banyak dilakukan, hal ini dapat dilihat dari penelitian yang dilakukan oleh I. Arisan dkk, dimana dalam penelitian tersebut digunakan tipe reactor TFFB dan DSS dan disimpulkan bahwa DSS memberikan hasil degradasi yang lebih baik dibandingkan dengan TFFBR.

Apabila reaksi fotodegradasi fenol berlangsung sempurna maka akan menghasilkan gas  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Cl}_2$  yang berasal dari fenol terklorinasi. Namun jika reaksi oksidasi fenol belum sempurna akan menghasilkan beberapa senyawa seperti hidrokuinon, asam acetat, asam format, dan sebagainya (Alemany, et al, 1997) yang tidak berbahaya atau relative lebih aman daripada senyawa fenol. Dalam waktu yang sama spesies aktif  $h_{\text{vb}}^+$  dan  $e_{\text{cb}}^-$  dapat mengalami rekombinasi atau penggabungan kembali sehingga dapat menurunkan jumlah radikal OH yang terbentuk. Reaksi rekombinasi ini dapat dicegah dengan menggunakan zat penangkap electron seperti gas oksigen dan menghasilkan hydrogen peroksida yang dapat berperan sebagai oksidator yang cukup kuat. Dengan terbentuknya hydrogen peroksida maka akan mempercepat reaksi fotodegradasi fenol dan turunannya.

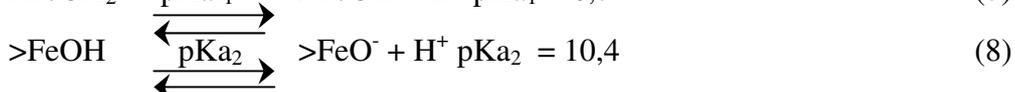
#### 4. Pengaruh ion-ion Logam

Secara umum ion logam ( $\text{Mn}^+$ ) dengan fotoelektron  $e^-$  dapat tereduksi menjadi  $\text{M}^{(\text{n}-1)+}$  yang selanjutnya  $\text{M}^{(\text{n}-1)+}$  dapat teroksidasi dengan hole membentuk  $\text{Mn}^+$  kembali. Sebagai contoh reaksi fotooksidasi-reduksi (fotoredoksi) antara ion  $\text{Fe}(\text{III})$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dengan adanya radiasi foton ( $h\nu$ ), seperti reaksi berikut:



Selanjutnya radikal  $\bullet \text{OH}$  berfungsi sebagai oksidator kuat yang akan mengoksidasi p-klorofenol (Brezova et al., 1995 dan Hoffman et al., 1997).

Spesies aktif dari  $\text{Fe}(\text{III})$  dalam pelarut air adalah  $>\text{FeOH}$ . Keberadaan  $>\text{FeOH}$  dapat dilihat dari reaksi berikut :



Dari persamaan reaksi 7 dan 8 mengindikasikan bahwa spesies aktif FeOH pada pH 6,7 sampai dengan 10,4.

Fotodegradasi fenol dan turunannya dengan adanya ion-ion logam berat terlarut juga dapat berlangsung. Pengaruh adanya logam-logam berat Fe(III), Cr(III), Cu(II), dan sebagainya terhadap fotodegradasi fenol telah dipelajari oleh Brezova, et al, (1995); Shul'pin, et al. (1997). Dalam penelitian tersebut telah dipelajari pengaruh ion-ion logam terlarut seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{CO}_2^{+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ , dan  $\text{Fe}^{3+}$  terhadap efektifitas fotodegradasi fenol terkatalis  $\text{TiO}_2$ . Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan  $\text{CO}_2^{+}$ , dan  $\text{Cu}^{2+}$  menghambat fotodegradasi fenol,  $\text{Cr}^{3+}$  dapat menghentikan degradasi fotokatalitik fenol, sementara itu  $\text{Fe}^{2+}$  dapat meningkatkan degradasi fenol.

Menurut Mukaromah, 2004, p-klorofenol yang terkatalis  $\text{TiO}_2$  dan adanya ion Fe(III) dalam skala laboratorium dapat terdegradasi 93,90% pada rasio konsentrasi p-klorofenol dengan masa  $\text{TiO}_2$  20 mg dalam 25 mL larutan p-klorofenol 300mg/L, konsentrasi Fe(III) 600mg/L, pH larutan 6-8 dan lama penyinaran 25 jam. Hasil penelitian Mukaromah, dkk., 2005, menunjukkan bahwa setiap jenis logam memberikan efek yang berbeda, yaitu ion logam  $\text{TiO}_2$  dan ion logam Cu(II) sedikit pada reaksi fotodegradasi fenol yang terkatalisis  $\text{TiO}_2$ .

## **5. Reaktor Membran Fotokatalitik**

### **a. Filtrasi Membran**

Secara konvensional filtrasi didefinisikan sebagai suatu proses pemisahan padatan dalam campuran yang tidak saling melarut. Untuk memperluas lingkup proses pemisahan tersebut, pemisahan dengan menggunakan media membran digunakan untuk memisahkan campuran gas dan solute yang terlarut. Pada proses pemisahan dengan membran ukuran dan bentuk partikel merupakan dasar proses pemisahan tersebut, dimana membran menahan komponen dari umpan yang berukuran lebih besar dari pori membran dan melewatkan komponen yang berukuran kecil. Dengan cara tersebut, maka filtrasi membran dapat berfungsi sebagai sarana pemekat dan pemurnian.

Pada proses pemisahan dengan membran, larutan yang terlarut disebut retentat dan yang melewati membran disebut permeat. Beberapa keuntungan yang dapat diambil dari proses pemisahan dengan membran yaitu pemakaian energi yang relatif rendah karena pada proses pemisahan tersebut, biasanya tidak memerlukan energi untuk perubahan fasa dari umpan, proses filtrasi dilakukan pada suhu kamar, desain modulator, tidak mempengaruhi sifat bentuk dan kimia dari kontaminan, tidak memerlukan penambahan bahan kimia. Selain itu keuntungan lain teknologi ini dibandingkan dengan teknologi pengendalian pencemaran lain adalah potensial daur ulang secara langsung.

### **b. Proses Membran**

Proses pemisahan dengan membran yang sering digunakan dalam pengolahan limbah industri adalah mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis. Mikrofiltrasi merupakan suatu proses filtrasi konvensional

dengan ukuran pori 10-0,05  $\mu\text{m}$  dengan tebal 10-150  $\mu\text{m}$ , proses ini beroperasi dengan tekanan dibawah 2 bar dan sangat cocok untuk menahan suspensi dan emulsi. Ultrafiltrasi merupakan proses membran yang berada diantara mikrofiltrasi dan reverse osmosis, dengan ukuran pori 1-100  $\mu\text{m}$  dengan tebal 150  $\mu\text{m}$ , proses ini beroperasi dengan tekanan 1-10 bar dan sangat cocok digunakan untuk padatan tersuspensi, mikroorganisme, dan disinfektan.

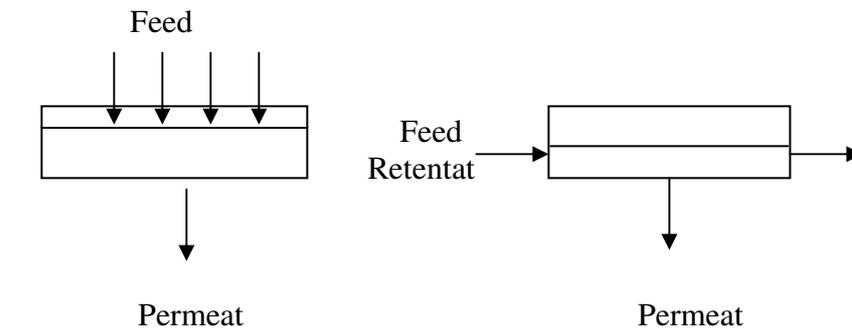
Nanofiltrasi merupakan suatu proses filtrasi dengan menggunakan membran sebagai media pemisah suatu fluida atau ion. Pada proses ini, perbedaan tekanan merupakan driving force untuk dapat berlangsungnya suatu proses pemisahan. Karakteristik nano filtrasi berada diantara reverse osmosis dan ultrafiltration. Nanofiltrasi beroperasi pada tekanan yang lebih rendah dibanding reverse osmosis (sekitar 5 bar) tetapi menghasilkan laju alir yield yang tinggi tidak jauh berbeda yang dihasilkan oleh reverse osmosis. Nanofiltrasi mempunyai kemampuan untuk menahan partikel sebesar 0,001  $\mu\text{m}$ , dan sangat efektif digunakan untuk memisahkan molekul yang mempunyai berat molekul sampa dengan 200, laruta yang mengandung garam bivalen, dan larutan yang mengandung small organic seperti  $\text{NH}_4^+$ .

Proses pemurnian air dengan menggunakan nanofiltrasi mempunyai kemampuan untuk menghemat energi pada pemisahan baik untuk air minum maupun air permukaan dengan TDS diatas 2000, dalam hal ini air dengan TDS tersebut mengandung garam divalent dengan konsentrasi tinggi. Pada pengoprasian tekanan sekitar 70 psi, nanofiltrasi dapat merecovery sebesar 90% kekeruhan dan zat warna.

Beberapa parameter yang diprediksi merupakan kunci dari karakteristik membran nanofiltrasi yaitu diameter pori ( $r_p$ ) berkisar antara 1,4–1,5 nm, perbandingan ketebalan membran terhadap porositas ( $\Delta x/ A_k$ ) dengan range 0,66-16  $\mu\text{m}$ , dan perbandingan perubahan density terhadap konsentrasi ( $X_d/C_b$ ) yaitu antara -1,5 sampai dengan -50. dengan mengetahui parameter yang mengkarakteristik membrane tersebut, maka diharapkan dapat menetapkan mekanisme proses perpindahan dalam membrane yang dipengaruhi oleh difusi, elektromigrasi dan konvensi. Dalam hal ini, ketiga variable tersebut mempunyai kontribusi yang signifikan dalam mekanisme perpindahan dalam membran, kecuali pada kasus dimana dalam pengoprasian digunakan tekanan yang sangat rendah, konveksi hanya memberikan kontribusi kurang dari 5% sedangkan difusi memberikan kontribusi yang sangat dominan.

Reverse osmosis digunakan untuk mengambil solut dengan berat molekul rendah. Perbedaan antara reverse osmosis dan ultra filtrate terletak pada ukuran solute. Membrane yang digunakan pada proses ini mempunyai pori lebih besar dari 2mm dengan ketebalan sublayer 150  $\mu\text{m}$  dsan top layer 1 $\mu\text{m}$ , prses ini beroperasi dengan tekanan 15-25 bar untuk brakish water dan 40-80 bar untuk air laut. Proses ini cocok digunakan untuk mengambil ion monovalent, hampir seluruh senyawa organik berukuran kecil, mikro polutan dan desalinasi.

Tipe aliran umpan yang digunakan dalam proses oprasi filtrasi bias berupa melintas (dead-end) maupun aliran saling silang (cross flow). Skema system aliran tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 1. dibawah ini :



**Gambar 1. Tipe Aliran Umpan (a) melintang, (b) aliran silang**

Dalam operasi aliran silang, umpan dipompa tegak lurus arah perpindahan massa pada membran. Tekanan menggerakkan sebagian umpan melalui membran, sisa aliran umpan mengalir secara tangensial ke permukaan membran secara kontinyu menyapu partikel dari permukaan membran. Dengan aliran silang ini, maka solut yang terakumulasi pada permukaan membrane bisa terlepas akibat kecepatan aliran dan tingkat turbulensi dari aliran umpan.

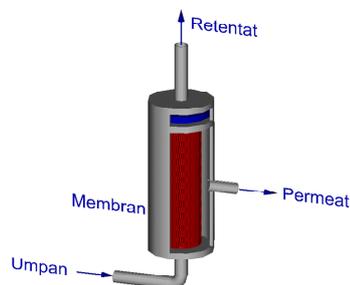
Pada filtrasi dengan aliran melintang, tekanan menggerakkan umpan ke seluruh pori dari media filtrasi. Padatan akan tetap tinggal dipermukaan filter dan akan berada pada pori atau melewati filter bersama dengan filtrat.

### c. Konfigurasi Membran

Pada aplikasi membran, luas permukaan membrane merupakan persyaratan yang sangat penting untuk ditinjau, karena berhubungan dengan efisiensi dan perkiraan biaya. Unit terkecil dari suatu proses membran dinamakan modul, dalam hal ini modul yang mungkin untuk didisain terdiri dari dua tipe yaitu flat (plate and frame dan spiral wound) dan tabuler (tubular, copilar, dan hollow fiber).

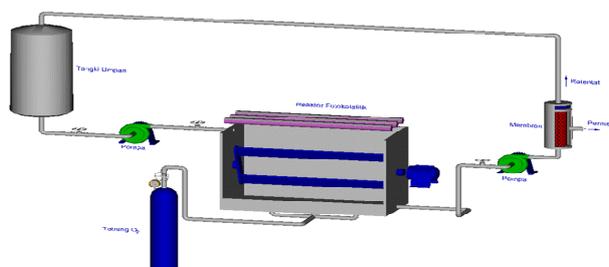
Pada modul dengan tipe modul tubular masing-masing membran ditempatkan dalam suatu porous pipa stainless steel, keramik, atau plastic dengan diameter pipa lebih besar dari 10 mm kemudian pipa tersebut dengan jumlah antara 4 sampai 18 ditempatkan bersama-sama. Modul kapiler mempunyai packing density  $600-1200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , dengan dua tipe susunan modul yang dapat digunakan berdasarkan feed yang masuk yaitu outside-in dan inside-in. Pada modul hollow fiber mempunyai packing density  $30000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , keuntungan menggunakan modul ini yaitu kemampuannya dalam hal backflushing sehingga memudahkan dalam pencucian, dalam system ultrafiltrasi kecepatan aliran modul hollow fiber berkisar antara  $0,5 - 0,25 \text{ m/det}$ , atau dengan bilangan Reynold antara  $500 - 3000$  sehingga hollow fiber beroperasi dalam keadaan laminar.

## Membran Photokatalitik



Gambar 2. Membran fotokatalitik

## Reaktor Membran Fotokatalitik Hollow Fiber



Gambar 3. Reaktor membran fotokatalitik dalam mendegradasi fenol dilengkapi dengan pengaduk, sinar UV, tabung oksigen dan membran fotokatalitik

## METODE PENELITIAN

### A. Pembuatan Reaktor Membran Fotokatalitik

Kondisi optimum dalam pembuatan reaktor membran fotokatalitik seperti tekanan, jumlah katalis yang digunakan, waktu tinggal dalam reaktor, konsentrasi umpan (larutan baku fenol) serta konfigurasi reaktor membran fotokatalitik dipelajari, sehingga dihasilkan teknologi membran dalam mendegradasi fenol dengan katalis  $\text{TiO}_2$ , ion  $\text{Fe(III)}$ , dan  $\text{Cu(II)}$  dari hasil kondisi penelitian sebelumnya, Mukaromah, dkk., 2005 dalam skala laboratorium.

### B. Bahan dan Alat

Larutan baku fenol, membran (polipropilen dengan konfigurasi hollow fiber) dalam satu modul membran hollow fiber terdiri dari 6 batang fiber dengan panjang 30 cm dan diameter fiber 0,2 mm serta diameter ukuran luar 0,4 mm. Kecepatan aliran fenol 1-8 m/detik dengan laju aliran volumetrik 250 – 2000 L/jam. Reaktor Membran fotokatalitik dilengkapi dengan sinar ultra violet. Sedangkan peralatan yang menunjang untuk analisa, yaitu pH meter,

neraca Analitik, spektrofotometer, difraksi sinar X, buret, erlenmeyer dan beker glass.

### **C. Lokasi Penelitian**

Pembuatan reaktor membran fotokatalitik dilakukan di laboratorium Kimia UNDIP, pemeriksaan fenol dilaboratorium Kimia FIKKES UNIMUS, Pemeriksaan  $\text{TiO}_2$  di laboratorium Kimia Analitik Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

### **D. Variabel penelitian**

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan variabel berubah jumlah katalis, konsentrasi fenol, waktu reaksi dalam reaktor, pH larutan, adanya ion Fe(III) dan Cu(II). Sedangkan variabel lain dipertahankan tetap yaitu temperaatur ( $25^\circ\text{C}$ ), jenis dan ukuran membran, dan volume larutan baku fenol (20.000mL) yang akan diolah.

### **E. Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian ini terdiri dari: optimasi konsentrasi fenol, jumlah katalis  $\text{TiO}_2$ , waktu reaksi, pH larutan, konsentrasi Fe(III) dan Cu(II).

#### **1. optimasi konsentrasi fenol**

Proses diawali dengan memasukkan 20,0 L fenol 100 mg/L ke dalam reaktor kemudian ditambahkan dengan jumlah  $\text{TiO}_2$  2 g dan dialiri gas oksigen dan pH larutan 7. Didegradasi dengan membran fotokatalitik dan sinar lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama selama 25 jam. Larutan dipisahkan dari padatnya dengan membran fotokatalitik Filtrat yang diperoleh diencerkan menjadi tepat 20,0 L dan dianalisis dengan metode titrasi guna penentuan konsentrasi fenol yang tersisa. Ulangi pekerjaan seperti prosedur di atas dengan variasi konsentrasi fenol (100, 200, 300, 400mg/L)

#### **2. Optimasi jumlah katalis $\text{TiO}_2$**

Proses diawali dengan memasukkan 20,0 L fenol optimum ke dalam reaktor kemudian ditambahkan dengan jumlah  $\text{TiO}_2$  2 g dan dialiri gas oksigen dan pH larutan 8. Didegradasi dengan membran fotokatalitik dan sinar lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama selama 25 jam. Larutan dipisahkan dari padatnya dengan membran fotokatalitik Filtrat yang diperoleh diencerkan menjadi tepat 20,0 L dan dianalisis dengan metode titrasi guna penentuan konsentrasi fenol yang tersisa. Ulangi pekerjaan seperti prosedur di atas dengan variasi jumlah katalis  $\text{TiO}_2$  (4, 6, 8 g/ 20,0L).

#### **3. Optimasi waktu reaksi**

Proses diawali dengan memasukkan 20,0 L fenol ke dalam reaktor kemudian ditambahkan dengan jumlah  $\text{TiO}_2$  optimum dan dialiri gas oksigen dan pH larutan 8. Didegradasi dengan membran fotokatalitik dan sinar lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama selama 25 jam. Proses

dilanjutkan sama prosedur 1. Ulangi pekerjaan seperti prosedur di atas dengan variasi waktu (50, dan 75 jam).

#### 4. Optimasi pH larutan

Proses diawali dengan memasukkan 20,0 L fenol ke dalam reaktor kemudian ditambahkan dengan jumlah  $\text{TiO}_2$  optimum dan dialiri gas oksigen dan pH larutan 8. Didegradasi dengan membran fotokatalitik dan sinar lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama selama 25 jam. Proses dilanjutkan sama prosedur 1. Ulangi pekerjaan seperti prosedur di atas dengan variasi pH (6 dan 10).

#### 5. Optimasi Fe(III)

Proses diawali dengan memasukkan 20,0 L fenol ke dalam reaktor kemudian ditambahkan dengan jumlah  $\text{TiO}_2$ , pH dan waktu reaksi optimum dan ditambahkan ion Fe(III) 50 mg/L dialiri gas oksigen. Didegradasi dengan membran fotokatalitik dan sinar lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama selama 25 jam. Proses dilanjutkan sama prosedur 1. Ulangi pekerjaan seperti prosedur di atas dengan variasi Fe(III) 100, 150 mg/L.

#### 6. Optimasi Cu(II)

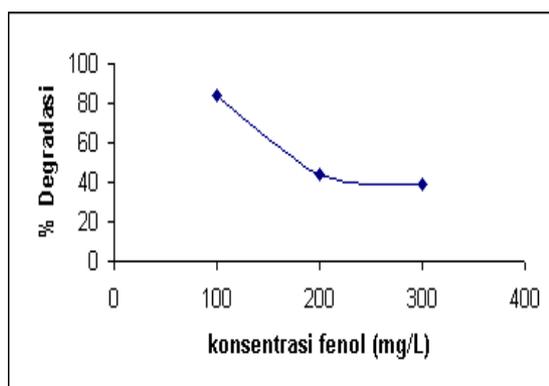
Proses diawali dengan memasukkan 20,0 L fenol ke dalam reaktor kemudian ditambahkan dengan jumlah  $\text{TiO}_2$ , pH dan waktu reaksi optimum dan ditambahkan ion Cu(II) 1,0 mg/L dialiri gas oksigen.. Proses dilanjutkan sama prosedur 1. Ulangi pekerjaan seperti prosedur di atas dengan variasi Cu(II) 10, 20, dan 30 mg/L.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini terdiri dari: berupa optimasi konsentrasi fenol, jumlah katalis  $\text{TiO}_2$ , waktu reaksi, pH larutan, konsentrasi Fe(III) dan Cu(II) sebagai berikut :

#### 1. Optimasi konsentrasi fenol dengan jumlah katalis , pH 8, dan waktu reaksi 25 jam tertera pada Tabel 1.

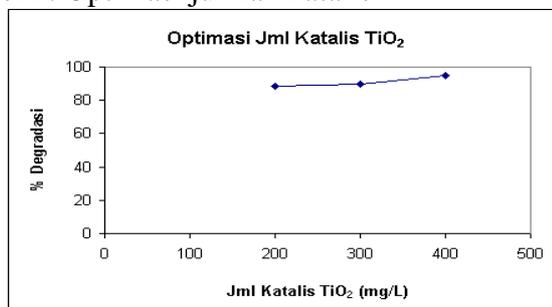
Tabel 1. Optimasi konsentrasi fenol



Dari Tabel 1 diperoleh bahwa dengan kenaikan konsentrasi fenol dengan jumlah katalis tetap (16 gram/20L) maka % degradasi fenol semakin berkurang. Hal ini disebabkan pada konsentrasi awal fenol 100 mg/L tumbukan efektif antara fenol dengan radikal OH di permukaan katalis meningkat. Sedangkan kenaikan konsentrasi fenol yang lebih tinggi lagi sudah terbentuk produk hasil fotodegradasi dalam jumlah banyak sehingga akan mengurangi interaksi antara permukaan fotokatalis dengan fenol, akibatnya proses fotodegradasi kurang efektif. Dalam penelitian ini digunakan konsentrasi fenol 100 mg/L.

**1. Optimasi jumlah katalis TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi fenol optimum , pH 8, dan waktu reaksi 25 jam tertera pada Tabel 2.**

Tabel 2. Optimasi jumlah katalis

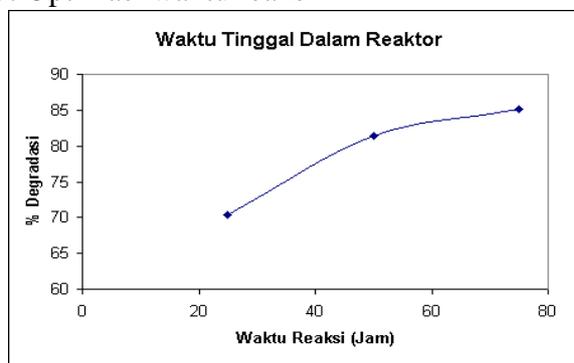


Dari Tabel 2 diperoleh bahwa dengan kenaikan jumlah katalis TiO<sub>2</sub> maka % degradasi fenol semakin bertambah. Hal ini disebabkan bahwa kenaikan massa fotokatalis akan meningkatkan jumlah permukaan fotokatalis sehingga penyediaan radikal OH semakin besar. Adanya kenaikan jumlah radikal menyebabkan reaksi fotodegradasi fenol semakin efektif dan jumlah degradasi fenol semakin meningkat. Untuk pertimbangan efisiensi dalam penelitian ini digunakan jumlah katalis 4 gram/20L.

**3. Optimasi waktu reaksi**

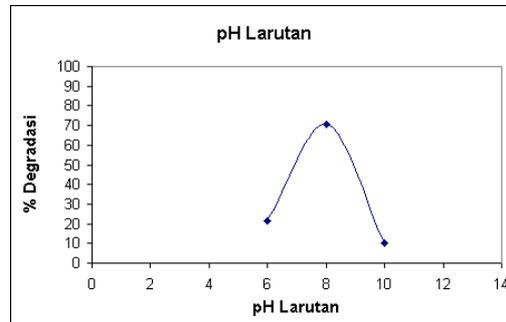
Optimasi waktu reaksi tertera pada Tabel 3

Tabel 3. Optimasi waktu reaksi

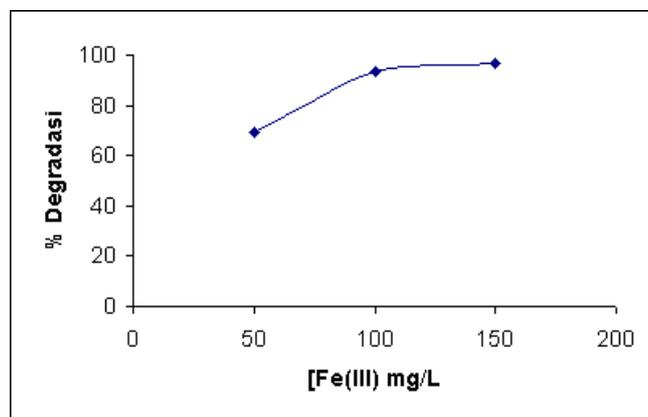


Dari Tabel 3. semakin lama waktu reaksi semakin besar pula degradasi fenol yang dihasilkan

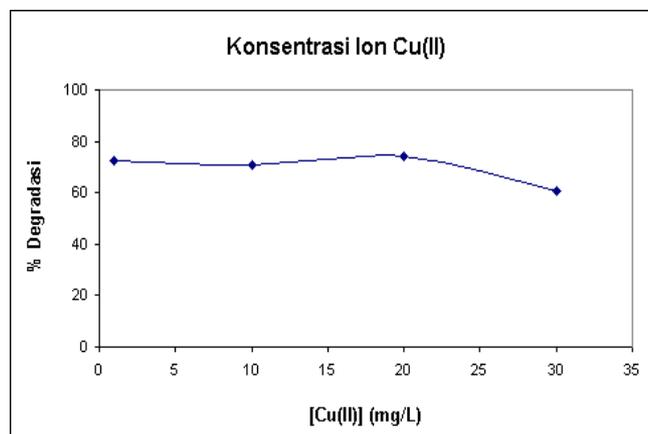
#### 4. Optimasi pH larutan



#### 1. Optimasi Fe(III)



#### 6. Optimasi Cu(II)



#### KESIMPULAN

Hasil penelitian ini adalah :

1. Optimasi konsentrasi fenol adalah 100 mg/L.
2. Jumlah katalis  $\text{TiO}_2$  adalah 4 gram/20L
3. Waktu reaksi Optimum 25 jam
4. pH larutan optimum 8
5. Konsentrasi Fe(III) optimum adalah 100 mg/L
6. Konsentrasi Cu(II) optimum adalah 1mg/L.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arslan, I., Balcioglu I.A., Bahnemann D.W. 2001. Photochemical Treatment Of Simulated Dyehouse Effluents By Novel TiO<sub>2</sub> Photocatalysts : Experience With The Thin Film Fixed (TFFB) And Double Skin Sheet (DSS) Reaktor. *Water Science and Technology*, 44, 4171-178
- Aleman, L. J., Bandares, M. A., Pardo, E., Martin, F., Galan-Fereres, M., and Blasco, J. M. 1997. Photodegradation of Phenol in Water Using Silica Supported Titania Catalyst. *J. Appl. Catal. B: Environ.*, 13, 289-297.
- BAPPEDAL Prop. Jateng. 2004. *Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah No. 10 tahun 2004 tentang baku Mutu Air Limbah*.
- Burrow, H. D., Ernestova, L.S., Kemp, T.J., Sukarotov, Y. I., Purnal A.P., and Yermakov, A. N. 1998. Kinetics and Mechanism of Photodegradation of Chlorophenol. *J. Sci. And Techn. Lett.*, 23, 4285-4299
- Chan A. H., dkk. 2001. Photocatalytic Thin film Cascade Reaktor of Treatment of Organic Compounds in Wastewater. *Water Science and Technology*, 44, 187-195.
- Chaudhry, G. R. 1994. Biological degradation and Bioremediation of Toxic Chemicals. *Champan and Hall, London*, 74-158.
- Fatimah, I., dkk. 2005. *Penerapan Metoda Adsorbansi-Fotodegradasi Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka menggunakan TiO<sub>2</sub>-Zeolit*. Laporan Hasil imbah Bogasari.
- Fujishima, A.K., Hasimoto, K., Watanabe, T. 1999. *TiO<sub>2</sub> Photocatalysis Fundamental and Application*. Japan: Koyo printing.
- Ghaly, M. Y., Hartel, G., Mayer, R., and Hasender, R. 2001. Photochemical Oxidation of p-Chlorophenol by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Photo-Phenol Process A Comparative Study. *J. Wast Manag.*, 21, 41-47.
- Geissen. S.U., et al. 2001. Comparison of Suspended and Fixed Photocatalytic Reactor System. *Water Science and Technology*, 44, 245-249.
- Hoffman, M.R., Martin, S.T., Choi, W., and Bahnemann, D.W. 1997. Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis. *J. Chem. Rev.*, 69-96.
- Hu, Z., Srinivast, M.P., and Ni, Y. 2000. Adsorption and Desorption of Phenol and Dyes on Microscopic and Mesoporous Activated Carbon. *Proceeding of the Second Pacific Basin Conference on Adsorption Sci. And Techn., Brisbane Australia*, 274-278.
- Jung, O.J. 2001. Destruction of 2-Chlorophenol from Waste Water and Investigation of Product by Ozonation. *J. Chem. Soc.*, 22, (8). 850-856.
- Mukaromah, A. H. 2004. Pengaruh Adanya Ion Logam Fe(III) terhadap Efektifitas Fotodegradasi p-Klorofenol Terkatalisis TiO<sub>2</sub>. Tesis S2, UGM Yogyakarta.
- Mukaromah, A. H. 2005. Efektifitas Fotodegradasi p-Klorofenol dengan Katalis TiO<sub>2</sub>. *Journal Litbang Universitas Muhammadiyah Semarang, ISSN 1829-880x Vol. 2 (2)*, Semarang, LP3M UNIMUS.

- Mukaromah, A. H., dan Ariyadi, T. 2005. *Pengaruh Adanya Ion-ion logam Cu(II) dan Ion Fe(III) Terhadap Efektifitas Fotodegradasi p-Klorofenol Terkatalisis TiO<sub>2</sub>*. Laporan Penelitian dosen Muda, DIKTI.
- Mukaromah, A. H., Irawan B., Rahmawati A., 2008. *Pembuatan Reaktor Membran Fotokatalitik dalam Mendegradasi Fenol Terkatalis TiO<sub>2</sub> dengan Adanya Ion Logam Fe(III) dan Cu(II)*, Penelitian Hibah Bersaing, DIKTI.