

# PENGARUH *FOULING* PADA PERMUKAAN MEMBRAN SERAT NANO SELULOSA BAKTERIAL DENGAN NANOPARTIKEL Ag DAN TiO<sub>2</sub>

## THE INFLUENCE OF *FOULING* ON SURFACES OF NANOFIBER BACTERIAL CELLULOSE MEMBRANES WITH Ag AND TiO<sub>2</sub> NANOPARTICLES

Suprihanto Notodarmodjo<sup>1</sup>, Srie Gustiani<sup>2</sup>, Cynthia Radiman<sup>3</sup>, Mindriani Syafila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,  
Jalan Ganesa 10, Bandung 40132, INDONESIA

ftsl@bdg.itb.ac.id

<sup>2</sup>Balai Besar Tekstil,

Jalan Jend. A. Yani No. 390 Bandung, INDONESIA

E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id, sgustiani@yahoo.com

<sup>3</sup>Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung  
Jalan Ganesa 10, Bandung 40132, INDONESIA

Tanggal diterima: 19 Juli 2016, direvisi: 25 Oktober 2016, disetujui terbit: 3 November 2016

### ABSTRAK

Nanopartikel Ag dan TiO<sub>2</sub> terlekat pada permukaan serat nano selulosa bakterial (SB), dapat mencegah *fouling* pada membran yang disebabkan oleh pengolahan limbah berwarna. Pada penelitian ini telah dipelajari pengaruh nanopartikel Ag dan TiO<sub>2</sub> terlekat pada permukaan serat nano selulosa bakterial terhadap *fouling* pada membran. Metode penelitian meliputi percobaan untuk memperoleh nilai fluks, resistensi, rejeksi, dan laju reaksi pada membran. Pada proses penelitian ini digunakan membran selulosa bakterial tanpa nanofotokatalis dan menggunakan nanofotokatalis dalam mengolah air limbah warna *reactive black 5* (RB5), menggunakan reaktor membran fotokatalitik selulosa bakterial. Proses percobaan dilakukan skala laboratorium dengan sistem aliran *crossflow*, pH 11, konsentrasi warna limbah buatan 10 mg/L, intensitas lampu UV 4,5 W/cm<sup>2</sup> selama 120 menit, jumlah katalis Ag dan TiO<sub>2</sub> 3,85 mg/cm<sup>2</sup>. Nilai laju pembentukan *cake* yang paling baik yaitu membran SB/Ag/TiO<sub>2</sub> sebesar 65 L/m<sup>2</sup>.jam. Laju pembentukan *cake* yang diperoleh pada membran SB/Ag/TiO<sub>2</sub> tidak mengalami peningkatan, hal tersebut dapat terjadi karena keberadaan Ag dan TiO<sub>2</sub> yang menempel pada permukaan membran membantu mencegah terjadinya *fouling* melalui mekanisme degradasi fotokatalitik.

**Kata kunci:** nanopartikel, nanofiber, fotokatalitik, immobilisasi.

### ABSTRACT

*Immobilization of Ag and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the surface of bacterial cellulose (BC) nanofibers, was able to prevent fouling of the membrane caused by colored wastewater treatment. In this research, the influence of Ag and TiO<sub>2</sub> nanoparticles immobilization on the surface of bacterial cellulose nanofibers to membrane fouling has been studied. Research methods include experiments to obtain the value of flux, resistance, rejection and membrane rate. In this research were used BC membranes without and with nanocatalyst for treatment of wastewater reactive black 5 (RB5) dyed, using membrane photocatalyst reactor. Condition of experiment are laboratory scale reactor in operational crossflow system, pH 11, dye concentration 10mg/L, UV lamp intensity 4.5 W/m<sup>2</sup> for 120 minutes and amount of Ag and TiO<sub>2</sub> catalyst used were 3.85 mg/cm<sup>2</sup>. The optimum cake forming rate value was obtained of the membrane SB/Ag/TiO<sub>2</sub> by 65 L/m<sup>2</sup>.hr Cake foarming rate were obtained at SB/Ag/TiO<sub>2</sub> membrane and doesn't increase, it can occur due to the existence of Ag and TiO<sub>2</sub> which attached on the membrane surface helps prevent fouling through photocatalytic degradation.*

**Keywords:** nanoparticles, nanofibers, photocatalyst, immobilization.

## PENDAHULUAN

Penelitian mengenai reaktor membran untuk memisahkan kontaminan dalam air limbah semakin berkembang, karena manfaatnya sangat menarik seperti kualitas efluen yang tinggi, mudah dikelola, ukuran yang kompak. Namun demikian proses membran masih memiliki kelemahan, yaitu terjadi *fouling* pada permukaan dan pori membran. Tantangan terbesar dalam teknologi membran adalah terjadinya *fouling*. Adanya *fouling* dapat menyebabkan penurunan fluks. Fluks berbanding terbalik dengan selektifitas. Semakin tinggi fluks seringkali berakibat menurunnya selektifitas dan sebaliknya. Sedangkan hal yang diinginkan dalam proses berbasis membran adalah mempertinggi fluks dan selektifitas.

*Fouling* pada membran dapat disebabkan oleh material kimia seperti senyawa organik dan anorganik serta material biologi seperti mikroorganisme. *Fouling* menyebabkan fluks yang berpermiasi turun, sehingga diperlukan penggantian dan pencucian membran yang sering. Hal ini semua meningkatkan biaya operasional dan pemeliharaan<sup>(1)</sup>. Membran *fouling* mempunyai pengaruh terbesar pada ekonomi proses dan operasi instalasi filtrasi membran. Penelitian *fouling* yang ekstensif telah dipublikasikan, tetapi mekanisme *fouling* masih belum dapat dipahami dengan sempurna. Hal ini dikarenakan *fouling* merupakan fenomena yang sangat kompleks yang melibatkan banyak faktor.<sup>2</sup> Studi terhadap terjadinya *fouling* pada permukaan membran telah dilakukan oleh beberapa peneliti.<sup>3</sup> Untuk mencegah terjadinya *fouling* dapat dilakukan beberapa cara, diantaranya yaitu dengan cara menggunakan aliran *crossflow* pada proses membran,<sup>4</sup> modifikasi pada permukaan membran ataupun modifikasi pada proses membran,<sup>5,6</sup> serta dapat pula dengan sistem *backwash* dan pencucian membran, proses preklorinasi, proses oksidasi ozon dan juga koagulasi sebelum filtrasi.<sup>7</sup> Salah satu studi yang telah dipelajari adalah melakukan modifikasi terhadap proses membran, dengan menggunakan logam yang dilapiskan pada permukaan membran.<sup>8</sup>

Teknologi membran dipilih karena proses yang sederhana dan tidak menghasilkan limbah baru sehingga tergolong sebagai teknologi bersih. Salah satu kendala teknologi ini adalah harganya relatif mahal karena bahan baku untuk membuat membran masih harus diimpor.<sup>9</sup> Pemanfaatan selulosa bakterial sebagai sumber selulosa pada pembuatan selulosa asetat merupakan salah satu alternatif untuk mendapatkan bahan baku pembuatan membran. Salah satu produk selulosa bakterial yang berasal dari fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum* di dalam air kelapa dan telah dikenal oleh sebagian besar masyarakat sebagai produk makanan adalah *nata de coco*.<sup>10</sup> *Nata de coco* berasal dari air kelapa, terdapat dalam jumlah yang melimpah di

Indonesia dan dapat digunakan sebagai sumber selulosa bakterial serta dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku membran selulosa. Selulosa dan turunannya juga banyak digunakan sebagai bahan baku membran dalam proses mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan *reverse osmosis*.<sup>10</sup> Selulosa bakterial ini mempunyai sifat kemurnian relatif tinggi dibandingkan selulosa kayu, antara lain bersifat sangat hidrofilik, sifat fisik mekanik yang tinggi dalam keadaan basah dan kering, berbentuk anyaman halus yang unik dan kuat serta diproduksi dari berbagai macam substrat yang relatif murah. Sifat mekanik yang baik dari produk fermentasi air kelapa ini memberi kemungkinan yang luas untuk dimanfaatkan lebih lanjut dalam bidang fisika dan polimer, disamping sebagai bahan makanan.

Penelitian mengenai polimer selulosa bakterial sebagai bahan baku membran, telah banyak dilakukan oleh Piluharto, (2009) yaitu membran berupa film tipis, baik membran mikrofiltrasi maupun ultrafiltrasi. Inovasi penggunaan nanopartikel TiO<sub>2</sub> telah mendapatkan perhatian dalam meringankan *fouling* dan pengembangan reaktor membran fotokatalitik. TiO<sub>2</sub> merupakan fotokatalis yang sangat baik, stabil terhadap panas dan mekanik.<sup>11</sup> Menggabungkan nanopartikel TiO<sub>2</sub> dengan membran dapat meningkatkan hidrophilisitas dan kinerja membran dalam menyisihkan *foulants*. Hal ini dapat pula meningkatkan porositas membran dan daya serap air pada membran.<sup>12,14</sup> Selain itu perlekatan TiO<sub>2</sub> pada permukaan membran dapat meningkatkan kinerja membran. Pada saat TiO<sub>2</sub> disinari oleh sinar UV dengan panjang gelombang 10-400 nm, kemudian menyerap energi yang sama atau lebih besar dari energi *band-gap*, elektron dipromosikan dari pita valensi ke pita konduksi. Reaksi tersebut menghasilkan pasangan elektron *hole* yang bereaksi dengan oksigen atau molekul air terdekat untuk membentuk radikal OH, yang dapat mengoksidasi berbagai zat. Membran dapat berfungsi dalam membunuh bakteri, mendegradasi kontaminan organik dan *self cleaning* setelah terkena paparan sinar matahari.

Modifikasi elektronik permukaan fotokatalis TiO<sub>2</sub> melalui deposisi logam dengan menggunakan perak/Ag. Ag dipilih sebagai penjebak elektron karena tidak mudah teroksidasi dan memiliki potensial reduksi tinggi, sehingga Ag akan bertindak sebagai akseptor elektron. Oleh karena itu, nanopartikel TiO<sub>2</sub> yang tersensitifkan Ag menunjukkan perubahan potensial negatif dan arus anoda dalam merespon penyinaran cahaya tampak, sehingga dapat meningkatkan laju proses fotokatalitik.<sup>14</sup>

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gustiani (2014), telah dipelajari mengenai karakterisasi membran selulosa yang diimobilisasi oleh nanofotokatalis TiO<sub>2</sub> dan Ag sebagai katalis. TiO<sub>2</sub> berfungsi sebagai fotokatalis dan Ag berfungsi

sebagai katalis dalam proses fotokatalitik, sehingga dapat mempercepat proses fotokatalitik dan meningkatkan efisiensi penyisihan polutan organik dalam air dan air limbah.

Pada penelitian ini dibahas mengenai kemampuan Ag dan TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis dalam mencegah *fouling* pada permukaan membran yang disebabkan oleh warna pada air limbah tekstil. Membran yang digunakan hasil dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gustiani, 2014. Dari hasil penelitian terdahulu diperoleh membran yang diimobilisasi Ag dan TiO<sub>2</sub>, melalui metode pelapisan, dimana Ag dan TiO<sub>2</sub> terikat pada permukaan membran melalui interaksi non kovalen. Membran selulosa bakterial direndam dalam berbagai konsentrasi suspensi Ag dan TiO<sub>2</sub> untuk melihat pengaruh variasi konsentrasi terhadap penyisihan warna, pengurangan *fouling* dan sebagai antibakteri. Evaluasi terhadap pengurangan *fouling* dan aktivitas fotokatalitik dilakukan menggunakan larutan zat warna *Reactive Black 5* (RB 5), masing-masing bertujuan untuk melihat kinerja membran.

## METODE

### Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi membran serat nano SB terbuat dari *nata de coco* (sebagai tempat melekatnya nanofotokatalis TiO<sub>2</sub> dan Ag), Ag yang digunakan berupa *nanopowder* dengan ukuran partikel < 100 nm berbasis 99,5% *trace metal* diperoleh dari Sigma-Aldrich, TiO<sub>2</sub> yang digunakan adalah titanium (IV) oxide *nano powder* 99,7% dengan ukuran rata-rata partikel 5 nm diperoleh dari Sigma-Aldrich, zat warna *reactive black 5* diperoleh dari Dye Star untuk membuat limbah artifisial dan reagen. Zat kimia yang digunakan, meliputi reagen-reagen untuk menganalisa air limbah hasil pengolahan.

### Alat yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan gelas dan non gelas. Peralatan non gelas meliputi reaktor membran fotokatalitik terdiri dari support membran dan lampu UV-C 4,5 W/m<sup>2</sup> dengan panjang gelombang 365 nm untuk proses pengolahan air limbah warna, neraca analitik type SBA-31 (Denver instrument company AA-200), hot plate (Heidolph MR 2002) untuk membuat air limbah buatan, spektrofotometer (Thermo Spectronic 20) Perkin Elmer untuk mengukur absorbansi larutan warna, lemari pendingin menyimpan limbah buatan, pH meter (pHep by HANNA).

### Membran yang digunakan

Membran yang digunakan adalah membran selulosa bakterial yang diimobilisasi dan tidak diimobilisasi nanopartikel Ag dan TiO<sub>2</sub>, merupakan hasil dari penelitian sebelumnya.<sup>8</sup> Membran serat nano yang digunakan adalah jenis *flat sheet* dari selulosa bakterial (*nata de coco* yang dikeringkan), dengan diameter 10 cm. Serat nano digunakan sebagai tempat melekatnya nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan Ag.

Membran SB/Ag/TiO<sub>2</sub> diperoleh melalui metode pelapisan, yaitu SB diimobilisasi oleh nanopartikel Ag dan TiO<sub>2</sub>. Beberapa variasi konsentrasi Ag dan TiO<sub>2</sub> dibuat dengan cara melarutkannya pada 500 ml aquadest, larutan kemudian dikocok menggunakan *ultrasonic homogenizer* selama 1 jam. *Nata de coco* yang digunakan adalah nata yang berumur 3 hari. Gel *nata de coco* kemudian direndam di dalam larutan Ag dan TiO<sub>2</sub> selama 24 jam dan selanjutnya dikeringkan pada suhu ruangan sampai dengan kering ( $\pm 7$  hari). Metoda tersebut diperoleh hasil pengembangan percobaan di laboratorium.

Karakterisasi *nanofiber* yang dihasilkan dilakukan dengan mengamati beberapa parameter, diantaranya yaitu morfologi, fluks, rejeksi dan hambatan. Morfologi *nanofiber* dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), alat yang digunakan adalah JEOL JSM-6510/LV/A/LA.

### Reaktor membran fotokatalitik

Reaktor didesain dalam skala laboratorium dengan dimensi 45cm x 40cm x 70cm, dengan support membran memiliki diameter 15 cm. Support membran terbuat dari akrilat transparan dan besi. Lampu UV yang digunakan UV-C 4,5 W/m<sup>2</sup>, dengan panjang gelombang 365 nm. Reaktor dilengkapi dengan pompa dan penampung berukuran 500 ml dengan sistem aliran *cross-flow*.

### Proses pengolahan limbah cair warna buatan

Penelitian mengenai membran fotokatalitik SB/Ag/TiO<sub>2</sub> belum pernah digunakan oleh peneliti sebelumnya, karena merupakan hasil dari pengembangan di laboratorium. Membran fotokatalitik SB/Ag/TiO<sub>2</sub> digunakan untuk dekolonisasi air limbah warna tekstil buatan yaitu zat warna RB5 dan juga mencegah *fouling* pada membran.

Konsentrasi zat warna RB5 yang digunakan yaitu 10 mg/l. Percobaan degradasi zat warna dilakukan dengan variasi membran SB tanpa Ag dan TiO<sub>2</sub>, dengan TiO<sub>2</sub> saja dan dengan Ag dan TiO<sub>2</sub> dengan UV. Variasi penggunaan katalis yaitu *nanofiber* dilapisi oleh Ag 1,42 mg/cm<sup>2</sup>, *nanofiber* dilapisi TiO<sub>2</sub> 3,21 mg/cm<sup>2</sup> dan *nanofiber* dilapisi Ag dan TiO<sub>2</sub> 3,85 mg/cm<sup>2</sup>. Proses membran fotokatalitik dilakukan selama 120 menit dengan

sistem aliran *crossflow*, intensitas cahaya UV 4,5 W/m<sup>2</sup> serta tekanan 5 bar. Untuk melihat degradasi warna dilakukan pengambilan sampel tiap 15 menit kemudian dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 610 nm. Nilai absorbansi yang diperoleh, diplotkan terhadap kurva kalibrasi zat warna RB5.

Panjang gelombang optimum zat warna pada konsentrasi 10 mg/L diukur 3 kali di laboratorium pengujian lingkungan, Balai Besar Tekstil, Bandung. Panjang gelombang optimum zat warna RB5 dengan konsentrasi 10 mg/L adalah sebesar 610 nm.

**Karakterisasi kinerja membran SB/Ag/TiO<sub>2</sub>**

Karakterisasi kinerja membran diperoleh dengan menghitung fluks dan efisiensi penyisihan warna pada limbah tekstil di Laboratorium Sarana Riset Kimia Tekstil, Balai Besar Tekstil, Bandung menggunakan *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 2003*.

Mekanisme *fouling* bertujuan untuk melihat perubahan hambatan membran yang terjadi pada saat percobaan. Prosedur untuk melakukan studi tentang mekanisme *fouling* dilakukan dengan rincian sebagai berikut :

- a) R<sub>m</sub> didapat melalui pengukuran fluks air murni
- b) R<sub>t</sub> dihitung dari fluks akhir (yang stabil) hasil tempuhan untuk setiap variasi percobaan menggunakan persamaan (1).

$$R_t = R_m + R_f + R_c \dots\dots\dots(1)$$

Setelah melakukan tempuhan, permukaan membran dibilas dengan air untuk menghilangkan lapisan *cake*. Kemudian dilakukan pengukuran fluks air murni untuk memperoleh R<sub>m</sub>+R<sub>f</sub>

- c) Tahanan *cake* dihitung dari persamaan (2)
- d) Tahanan *fouling* dapat dihitung dari persamaan (3)

$$R_c = R_t - (R_m + R_f) \dots\dots\dots(2)$$

$$R_f = (R_m + R_t) - R_m \dots\dots\dots(3)$$

- e) Laju reaksi degradasi warna yang terjadi pada proses membran fotokatalitik zat warna merupakan salah satu parameter evaluasi terhadap performa proses membran fotokatalitik. Persamaan kinetika terlebih dahulu harus ditetapkan untuk mendapatkan kinetika laju reaksi yang sesuai. Pada penelitian ini dilakukan percobaan pada reaktor membran fotokatalitik aliran *crossflow* dengan volume permeat 200 mL dengan interval waktu pengamatan 0-120 menit. Pengamatan perubahan konsentrasi zat warna dilakukan dengan mengukur perubahan absorbansi warna yang diukur menggunakan spektrofotometer kemudian diplotkan pada kurva kalibrasi absorbansi-konsentrasi. Pengukuran absorbansi warna air limbah mengandung RB5 dengan variasi konsentrasi zat warna dilakukan pada λ<sub>maks</sub> 610 nm.

Kinetika degradasi warna dianalisa dengan data konsentrasi awal dan akhir degradasi zat warna RB5, menggunakan model persamaan Bohart-Adam seperti ditunjukkan pada persamaan (4).<sup>16</sup>

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_t} - 1\right) = k a_o \frac{z}{v} - k C o t \dots\dots\dots(4)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

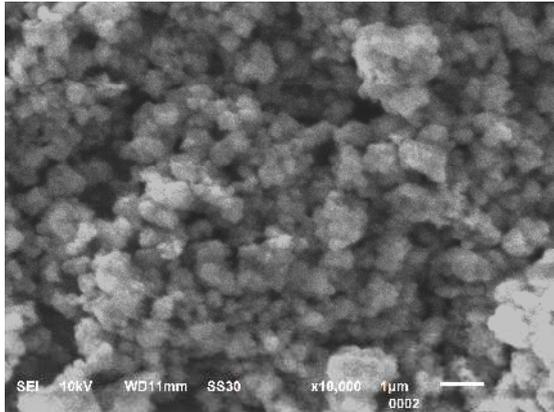
Pada tulisan ini hanya disajikan data mengenai *antifouling* pada permukaan membran dalam mengolah air limbah warna *reactive black 5*. Permasalahan mengenai *fouling* tidak dapat dihindari dan hal tersebut merupakan tantangan terbesar dalam teknologi membran. Lapisan *foulant* yang terbentuk pada permukaan membran, dapat menghambat proses filtrasi, mengurangi efektivitas dan fluks membran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Ag dan TiO<sub>2</sub> yang dilapiskan pada permukaan membran memberikan pengaruh terhadap pembentukan lapisan *foulant* pada permukaan membran.

Gambar 1 menggambarkan morfologi permukaan membran SB/Ag/TiO<sub>2</sub> (a) setelah digunakan pada perbesaran 10000x dan (b) setelah digunakan pada perbesaran 10000x. Gambar 1 menunjukkan bahwa membran SB/Ag/TiO<sub>2</sub> sebelum dan sesudah digunakan terlihat tidak ada perubahan pada area permukaan. Pada permukaan membran yang telah digunakan tidak tampak adanya polarisasi *foulants*. Hal tersebut dapat terjadi akibat dari pengaruh Ag dan TiO<sub>2</sub> yang dilapiskan pada permukaan membran. Fotokatalis dapat menghilangkan *foulants* pada permukaan membran secara kuat.<sup>15</sup>

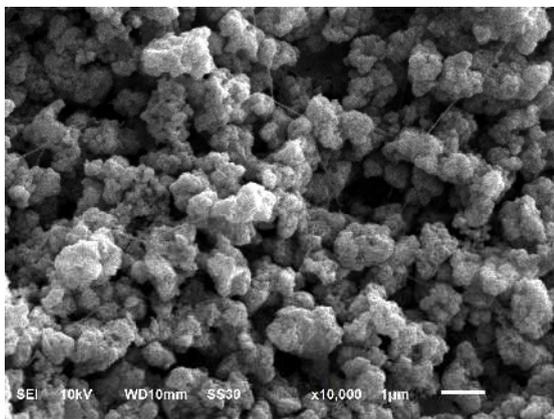
Pada Gambar 1 terlihat bahwa sebagian pori membran tersumbat oleh keberadaan fotokatalis TiO<sub>2</sub>. Penyumbatan pori membran dapat terjadi disebabkan oleh partikel fotokatalis itu sendiri. Rahimpour dkk, mengamati bahwa fluks air murni dari membran menurun dengan meningkatnya jumlah deposisi TiO<sub>2</sub> dan penyumbatan pori oleh *foulant*.

Gambar 2 menunjukkan fluks membran SB tanpa TiO<sub>2</sub> dan Ag, membran SB dengan Ag, dengan TiO<sub>2</sub> dan dengan TiO<sub>2</sub> dan Ag. Umumnya, membran dengan TiO<sub>2</sub> menunjukkan perbaikan kinerja. Namun fluks tidak selalu menggambarkan hidrofilisitas dari membran. Gambar 2 menunjukkan fluks akhir membran tanpa TiO<sub>2</sub> dan Ag, membran dengan Ag, membran dengan TiO<sub>2</sub> dan membran dengan TiO<sub>2</sub> dan Ag masing-masing setelah 120 menit sebesar 27, 24, 65 dan 50 L/m<sup>2</sup>.jam. Membran tanpa TiO<sub>2</sub> dan Ag serta membran dengan Ag pada awalnya memiliki nilai fluks yang lebih besar dibanding membran yang diberi fotokatalis TiO<sub>2</sub> sebesar 100 L/m<sup>2</sup>.jam, namun setelah 10 menit nilai fluks menjadi jauh

berkurang hingga 120 menit. Hal tersebut terjadi disebabkan oleh terjadinya polarisasi *foulant* pada permukaan membran, sehingga pori membran tersumbat dan fluks air bersih dan air limbah warna menjadi mengecil.

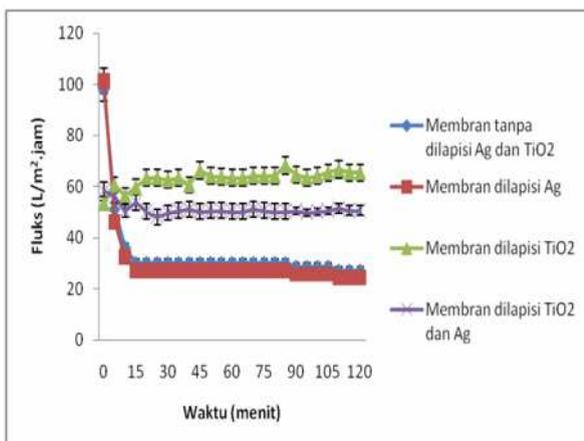


(a)



(b)

**Gambar 1.** Morfologi membran SB dilapisi TiO<sub>2</sub> dan Ag

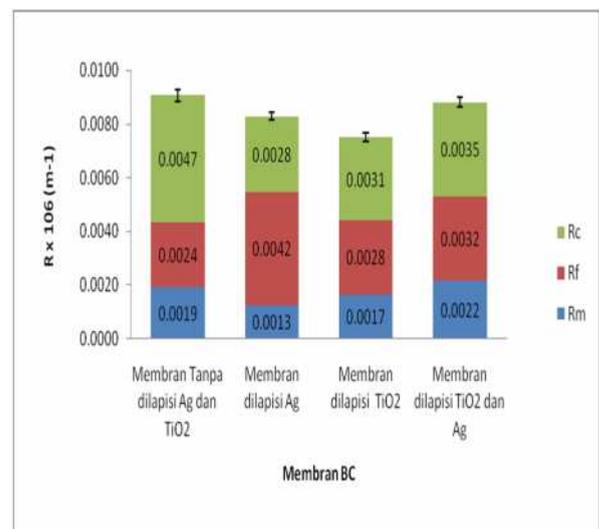


**Gambar 2.** Fluks membran SB

Keberadaan TiO<sub>2</sub> terbukti dapat membuat fluks membran lebih stabil, terbukti dari nilai fluks membran TiO<sub>2</sub> dan membran Ag dan TiO<sub>2</sub> relatif lebih stabil selama waktu proses. Namun, dari awal proses nilai fluks jauh lebih kecil dibanding membran tanpa fotokatalis dan membran dengan Ag, hal tersebut terjadi karena fotokatalis dapat pula menyebabkan penyumbatan pada pori membran. Diameter pori yang mengecil dapat memperkecil nilai fluks, sehingga kinerja membran menjadi menurun.

Penyumbatan pori lebih besar terjadi pada membran dengan TiO<sub>2</sub> dan Ag dibandingkan pada membran TiO<sub>2</sub>. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 2, penggunaan fotokatalis TiO<sub>2</sub> dan Ag lebih besar dibanding TiO<sub>2</sub>. Penggunaan fotokatalis dalam jumlah yang lebih banyak dapat menyebabkan penyumbatan yang lebih besar, sehingga diperlukan jumlah muatan TiO<sub>2</sub> yang optimal untuk meningkatkan hidrofilisitas pada permukaan membran tanpa pengaruh yang negatif pada ukuran pori.

Selain disebabkan oleh fotokatalis, penyumbatan pori disebabkan oleh *foulant*. Pada membran dengan TiO<sub>2</sub> dan Ag, *fouling* hanya disebabkan oleh keberadaan fotokatalis. Gambar 3 menunjukkan berbagai resistensi membran SB tanpa TiO<sub>2</sub> dan Ag, membran dengan Ag, membran dengan TiO<sub>2</sub> dan membran dengan TiO<sub>2</sub> dan Ag. Membran tanpa TiO<sub>2</sub> dan Ag memiliki resistensi *cake* (R<sub>c</sub>) lebih tinggi dibandingkan membran lainnya. Meskipun membran ini bersifat hidrofilik, namun karena pori membran yang sedemikian rapat, sehingga mendorong terbentuknya lapisan *cake* pada permukaan membran (polarisasi *foulant*).

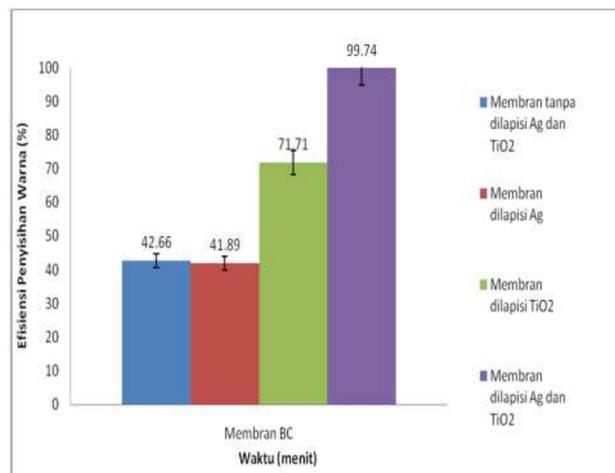


**Gambar 3.** Hambatan membran SB dalam mendekolorisasi limbah warna *reactive black 5* dengan aliran *crossflow*.

Fenomena yang terjadi pada membran dengan dengan TiO<sub>2</sub> dan Ag yaitu penyumbatan pada pori yang disebabkan oleh penumpukan fotokatalis pada permukaan membran. Hal tersebut dapat dilihat pada penampakan morfologi membran yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hal lain yang dapat membuktikan bahwa penyumbatan pada permukaan membran TiO<sub>2</sub> dan Ag, dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4 menyatakan bahwa membran TiO<sub>2</sub> dan Ag dapat menghilangkan *foulant* lebih baik dari membran lainnya. membran TiO<sub>2</sub> dan Ag dapat mendegradasi warna hingga 99,74%. Keberadaan TiO<sub>2</sub> yang diiradiasi sinar UV mampu memecah molekul air menghasilkan radikal hidroksida (OH<sup>•</sup>) dan radikal H. Radikal hidroksida menjadi zat pendegradasi yang akan menyerang berbagai gugus fungsi dalam larutan limbah buatan warna tekstil sehingga dapat dilakukan secara maksimal.

Membran TiO<sub>2</sub> yang ditambahkan Ag pada permukaannya dapat meningkatkan reaksi fotokatalitik. Mekanisme migrasi elektron pada permukaan fotokatalis TiO<sub>2</sub> yang termodifikasi logam Ag melalui tahap eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan setelah mengalami eksitasi, elektron bermigrasi menuju logam dan terperangkap dalam logam, sehingga rekombinasi *electron-hole* dapat ditekan, dan *hole* leluasa berdifusi ke permukaan fotokatalis di mana pada permukaan tersebut akan terjadi oksidasi senyawa-senyawa yang didegradasi.

Logam memiliki aktivitas katalitik dan memodifikasi sifat fotokatalitik fotokatalis melalui perubahan distribusi elektron.<sup>14</sup> Sehingga adanya sumber foton yang mengaktifasi TiO<sub>2</sub> yang tersensitifkan Ag, dapat mengurangi terjadinya hambatan pada permukaan membran.



**Gambar 4.** Dekolorisasi limbah warna *reactive black 5* menggunakan membran SB dengan aliran *crossflow*

Tabel 1 menjelaskan laju reaksi fotokatalitik dan pada membran SB tanpa TiO<sub>2</sub> dan Ag, membran dengan Ag, membran dengan TiO<sub>2</sub>

dan membran dengan TiO<sub>2</sub> dan Ag. Membran dengan TiO<sub>2</sub> dan Ag memiliki laju reaksi lebih cepat dibandingkan dengan membran lainnya. Keberadaan TiO<sub>2</sub> yang tersensitifkan Ag dapat mempercepat dan meningkatkan laju reaksi fotokatalitik dalam mendegradasi air limbah warna yaitu 202,71 x 10<sup>-5</sup> mL/mg menit dibandingkan dengan membran TiO<sub>2</sub> saja yaitu 152,49 x 10<sup>-5</sup> mL/mg menit. Kecepatan reaksi dan efisiensi penyisihan warna yang lebih tinggi yang berarti bahwa degradasi terjadi lebih cepat dibandingkan membran dengan fotokatalis. *Fouling* yang diakibatkan oleh *foulant* berupa zat warna dapat dicegah pada membran dengan reaksi fotokatalitik.

*Fouling* akibat zat warna terjadi pada membran tanpa fotokatalis dan Ag saja, karena *foulant* degradasi zat warna yang terjadi lebih lambat dibandingkan dengan membran dengan fotokatalis (Tabel 1).

**Tabel 1.** Konstanta laju reaksi

Membran	<i>k'</i> (mL/mg menit)	Keterangan
Tanpa dilapisi Ag dan TiO <sub>2</sub>	15,99 x 10 <sup>-5</sup>	Lebih lambat
Dilapisi dengan Ag	31,06 x 10 <sup>-5</sup>	Lambat
Dilapisi dengan TiO <sub>2</sub>	152,49 x 10 <sup>-5</sup>	Cepat
Dilapisi dengan Ag dan TiO <sub>2</sub>	202,71 x 10 <sup>-5</sup>	Lebih cepat

## KESIMPULAN

*Fouling* pada membran yang disebabkan oleh *foulant* berupa zat warna dapat dicegah dengan menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub> pada permukaan membran. Keberadaan logam Ag dapat meningkatkan kinerja membran. Jumlah optimal fotokatalis yang menempel pada permukaan membran sangat menentukan kinerja membran. Fotokatalis yang menempel pada permukaan membran menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori membran. Metode pembuatan membran dengan metode pelapisan mungkin kurang efektif, karena TiO<sub>2</sub> yang menempel pada permukaan membran masih menyebabkan terjadinya *fouling*. Penelitian pembandingan diperlukan lebih lanjut untuk dapat lebih mengetahui permasalahan ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Bandung (ITB) yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Riset dan

Inovasi Kelompok Keahlian 2012 serta Balai Besar Tekstil atas sarana penelitian yang telah digunakan.

## PUSTAKA

- <sup>1</sup> Chang, I.S., M. Gander, B. Jefferson dan S.J. Judd. (2001). Low-Cost Membrans for Use in a Submerged MBR. *Trans I ChemE*, 79 B: 183-188.
- <sup>2</sup> Liu, C. (2003). Membran *Fouling*: A Physicochemical Perspective, *Conference proceedings, WEFTEC*. Los Angeles, CA.
- <sup>3</sup> Hai, I.F., Yamamoto, K. dan Fukushi, K. (2005). Different Fouling Modes of Submerged Hollow Fiber and Flat Sheet Membrans Induced by High Strength Wastewater With Concurrent Biofouling. *Desalination*, 180: 89-97.
- <sup>4</sup> Puspayana. (2013). Pengolahan limbah cair tahu menggunakan membran nanofiltrasi silica aliran *cross flow* untuk menurunkan kadar nitrat dan ammonium. *Jurnal Teknil ITS*, 2, 2: 87-91.
- <sup>5</sup> Buchori, L., Susanto, H. dan Budiyo. (2010). Sintesis Membran Ultrafiltrasi Non Fouling Untuk Aplikasi Pemrosesan Bahan Pangan. *Reaktor*, 13, 1:10-15.
- <sup>6</sup> Ahmad, S. (2009). Peningkatan Fluks Membran Dengan Cara Perendaman Dalam Larutan Natrium Hipoklorit. *Teknologi Indonesia*, 32, 1: 31-36.
- <sup>7</sup> Sulistyani, E. dan Fitrianingtyas, M. (2009). Pengendalian *fouling* membran ultrafiltrasi dengan sistem automatic backwash dan pencucian membran., Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UNDIP.
- <sup>8</sup> Gustiani, S. (2014). Pengolahan efluen IPAL industri tekstil menggunakan membran nanofiber selulosa bakterial dengan nanopartikel Ag dan TiO<sub>2</sub>, Disertasi S3, Institut Teknologi Bandung Lindu, M., Puspitasari, T. dan Ismi, E. (2010). Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Asetat dari *nata de coco* sebagai Bahan Baku Membran Ultrafiltrasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12, 1: 17-23.
- <sup>9</sup> Piluharto, B. (2009). Kajian Sifat Fisik Film Tipis *Nata de coco* sebagai Membran Ultrafiltrasi, Universitas Jember.
- <sup>10</sup> M.N. Chong, B. Jin, C.W.K. dan Chow, C. (2010) Saint, Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review, *Water Res.* 44 : 2997–3027.
- <sup>10</sup> Sulistyani, E. dan Fitrianingtyas, M. (2010). Pengendalian *fouling* membran ultrafiltrasi dengan sistem *automatic backwash* dan pencucian membran, *Artikel Teknik Kimia, UNDIP*. 1- 4
- <sup>11</sup> T.H. Bae dan T.M. Tak. (2005). Effect of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on fouling mitigation of ultrafiltration membranes for activated sludge filtration, *J. Membr. Sci.* 249:1–8.
- <sup>12</sup> M.L. Luo, J.Q. Zhao, W. Tang, dan C.S. Pu. (2005). Hydrophilic modification of poly(ether sulfone) ultrafiltration membrane surface by self-assembly of TiO<sub>2</sub> nanoparticles, *Appl. Surf. Sci.* 249 : 76–84.
- <sup>13</sup> Y. Yang, H. Zhang, P. Wang, Q. Zheng, dan J. Li. (2007). The influence of nano-sized TiO<sub>2</sub> fillers on the morphologies and properties of PSF UF membrane, *J. Membr. Sci.* 288 : 231–238.
- <sup>14</sup> Susanti. (2012). Preparasi nanopartikel TiO<sub>2</sub>-anatas tersensitifkan perak (TiO<sub>2</sub>@Ag) untuk fotodegradasi metilen biru, MSc Thesis, Universitas Negeri Yogyakarta.
- <sup>15</sup> You, S. J., Semblante, G. U., Lu, S. C., Damodar, R. A. dan Wei, T. C. ( 2012). Evaluation of the Antifouling and Photocatalytic Properties of Poly(vinylidene fluoride) Plasma-grafted poly(acrylic acid) Membran With Self-assembled TiO<sub>2</sub>, *J Hazard Mater.* 237-238: 10-9.

