

PENGARUH PENAMBAHAN TITANIUM DIOKSIDA TERHADAP KARAKTERISTIK MEMBRAN SELULOSA ASETAT

Hery Setyawan

Program Studi Pendidikan MIPA Universitas Indraprasta PGRI

Jajang Juansah

Mersi Kurniati

Program Studi Fisika Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

The cellulose acetate membrane was prepared by adding variations in the concentration of titanium dioxide (TiO₂) and by using phase inversion techniques. With the addition of variations in the concentration of TiO₂, the water flux value of the cellulose acetate membrane would increase in both the dead-end and crossflow methods. It is the same with the results of the membrane mechanical test, where the addition of TiO₂ will increase the mechanical strength of the membrane. Tensile test and membrane compressive test were carried out in dry and wet conditions. The value of tensile strength and compressive strength in the highest dry conditions was on the cellulose acetate membrane with the addition of 5% TiO₂ with values of 3,433 N/mm² and 0,048 N/mm², respectively. In wet conditions, there is a decrease in the compressive strength and tensile strength of the membrane. And from the results of the vibration test, the cellulose acetate membrane which was added with TiO₂ 5% had better resistance to vibration than other membranes. And according to SEM results, the cellulose acetate membrane without the addition of TiO₂ has a smoother surface than the membrane added with TiO₂.

Keywords: *Cellulose acetate, TiO₂, mechanical properties, tensile strength, cross-flow, dead-end, scanning electron microscopy (SEM).*

PENDAHULUAN

Teknologi membran sangat berkembang pesat sejak beberapa dekade lalu, karena teknologi ini mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan teknologi pemisahan lainnya. Membran lebih sederhana, lebih ramah lingkungan, dan hemat energi (Radiman, 2001).

Keberhasilan proses pemisahan membran bergantung pada kualitas membran itu sendiri. Beberapa parameter yang penting dalam menentukan kualitas suatu membran antara lain yaitu mempunyai permeabilitas yang tinggi, selektivitas yang tinggi, stabil pada rentang temperatur yang lebar, kestabilan mekanik dan tahan terhadap zat kimia yang akan dipisahkan (Piliharto, 2003). Walaupun demikian, membran mempunyai keterbatasan seperti terjadinya fenomena polarisasi konsentrasi dan *fouling* (penyumbatan) yang menjadi pembatas bagi volum air terolah yang dihasilkan dan juga keterbatasan umur membran (Wardhani, 2010).

Contoh membran sintesis yang dapat digunakan yaitu selulosa asetat (Sembiring, 2005). Selulosa asetat adalah salah satu turunan selulosa yang dibuat dengan mengganti gugus hidroksil(- OH) selulosa dengan gugus asetil (SNI, 1991). Salah satu aplikasi dari membran selulosa asetat yaitu sebagai media penyaringan pada pengolahan air dan limbah. Keunggulan membran selulosa asetat dibanding dengan membran sintesis lain adalah

membran ini banyak tersedia, murah, dan tidak cenderung bermasalah terhadap penyerapan (Azizah, 2008).

TiO₂ merupakan kristal yang berwarna putih yang indeks biasnya sangat tinggi, titik lebur 1855°C dan tersusun atas ion Ti⁴⁺ dan O²⁻ dalam konfigurasi octahedron (Gunlazuardi, 2009). Penambahan titanium dioksida (TiO₂) pada membran selulosa asetat ini diharapkan dapat menghasilkan membran yang memiliki sifat fisik yang baik sehingga tidak mudah terdekomposisi saat digunakan (Rohman, 2009). Selain itu penambahan TiO₂ juga dapat mempengaruhi fluks dari membran itu sendiri.

Karakteristik membran sintesis meliputi sifat listrik, termal, mekanik, dan sebagainya. Dalam bidang fisika, karakteristik membran banyak ditinjau dari segi sifat kelistrikan dan mekaniknya. Dalam penelitian ini akan lebih difokuskan pada sintesis dan karakterisasi membran selulosa asetat yang didadah TiO₂ meliputi uji getar, uji tarik, uji tekan, uji fluks dan uji morfologi membran menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM).

BAHAN DAN METODE

BAHAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Selulosa Asetat, Asam asetat, TiO₂ bubuk dan aquades. Alat yang digunakan terdiri dari neraca analitik, cawan petri, sudip, PASCO WA-9857 untuk percobaan Melde (*string vibrator*), PASCO C1-6746 untuk sensor gaya yang terhubung dengan komputer, *ultrasonic processor*, *aluminium foil*, spatula, tabung Erlenmeyer, pipet volumetri, pipet tetes, gelas ukur, gelas piala, *hot plate stirrer*, *magnetic stirrer*, plat kaca, nampan plastik, alat ujidan *scanning electron microscopy* (SEM).

METODE

Penelitian ini meliputi dua tahapan yaitu tahap sintesis membran selulosa asetat-titanium dioksida (TiO₂) dan tahap pengujian fluks membran, karakterisasi struktur permukaan dengan SEM dan uji mekanik. Uji mekanik meliputi uji tekan, getar dan tarik.

Pembuatan membran selulosa asetat yang ditambah TiO₂

Selulosa asetat dilarutkan dalam asam asetat kemudian ditambahkan titanium dioksida dengan konsentrasi yang berbeda tiap sampel. Teknik yang digunakan dalam pembuatan membran ini yaitu teknik pembalikan fasa rendam-endap (Rachmadetin, 2007)

Tabel 1. Perbandingan massa selulosa asetat, asam asetat, dan TiO₂

Sampel	Selulosa asetat (%)	Asam asetat (%)	TiO ₂ (%)
S1	12	88,0	0,0
S2	12	87,5	0,5
S3	12	87,0	1,0
S4	12	85,0	3,0
S5	12	83,0	5,0
S6	12	81,0	7,0

Larutan selulosa asetat/TiO₂ ditutup dengan *aluminium foil* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam supaya homogen dan dilakukan sonikasi

selama 2 jam. Larutan siap cetak dituang diatas plat kaca yang bersih, kemudian diratakan dengan batang silinder spatula agar menjadi lapisan tipis dan rata, proses ini disebut *casting solution*. Lapisan tipis tersebut selanjutnya dimasukkan selama 10-20 detik ke dalam nampan yang berisi aquades sebagai media koagulasi. Kemudian membran diangkat dan dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan sisa pelarut. Pemilihan teknik pembuatan membran sanga tmenentukan struktur membran yang dihasilkan (Widiastuti, 1998).

Uji fluks

Uji fluks pada membran dilakukan dengan dua cara, yaitu: *dead-end* dan *cross-flow*. Pada sistem *dead-end*,larutan umpan dialirkan secara tegak lurus terhadap membrane sedangkan pada sistem *cross-flow*, aliran umpan sejajar (tangensial) terhadap membrane (Mulder, 1996). Dari kedua pengujian didapatkan hubungan antara volum larutan yang melewati membran dan waktu yang dibutuhkan oleh larutan saat melewati membran. Nilai fluks dihitung dengan cara membagi volume pemisahan yang tertampung dengan hasil kali luas membran yang dilalui dan waktu pengukuran (Pratomo, 2003).

Uji Mekanik

Membran diuji kekuatannya dengan uji mekanik yang meliputi uji tekan, getar dan uji tarik. Membran dijepit pada kedua sisi dan ditekan tepat pada tengah-tengah membran. Alat penekan yang digunakan tumpul supaya luas penampangnya mudah diukur. Hal ini dilakukan sampai membran tepat patah. Untuk pengujian kuat tarik, membran dijepit kedua sisinya dan dihubungkan dengan sensor gaya. Data yang didapat meliputi hubungan gaya terhadap waktu. Hal ini dilakukan sampai membran putus. Kuat getar dilakukan untuk menentukan daya tahan membran terhadap getaran. Selain itu, uji getar bertujuan untuk menentukan jumlah getaran yang masih bisa ditahan oleh membran dalam selang waktu tertentu. Pada pengujian kuat getar, frekuensi diatur sedemikian rupa sehingga menimbulkan getaran pada membran. Hal ini dilakukan sampai membran patah.

Karakterisasi Morfologi Membran

Scanning Electron Microscopy (SEM) digunakan untuk mengamati morfologi suatu bahan (Samsiah, 2009). Karakterisasi struktur membran menggunakan SEM dimaksudkan untuk mengamati permukaan membran selulosa asetat yang ditambah TiO₂. Sehingga dengan SEM ukuran pori dan serat membran dapat dilihat dan dapat diketahui perbedaan pengaruh penambahan TiO₂ dengan konsentrasi yang berbeda terhadap membran **selulosa asetat**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Membran Selulosa Asetat dengan Penambahan Berbagai Konsentrasi TiO₂

Membran yang dihasilkan berupa lembaran-lembaran tipis dengan ukuran masing-masing sekitar 8 cm x 25 cm dan ketebalan sekitar 0.06 mm. Dari segi warna dan kecerahan, membran yang dihasilkan tidak memiliki warna dan kecerahan yang begitu berbeda, hanya saja membran tanpa penambahan TiO₂ lebih transparan bila dibanding dengan membran yang ditambah TiO₂. Sedangkan pada membran selulosa asetat dengan penambahan TiO₂ memiki warna yang lebih putih dan tidak transparan.



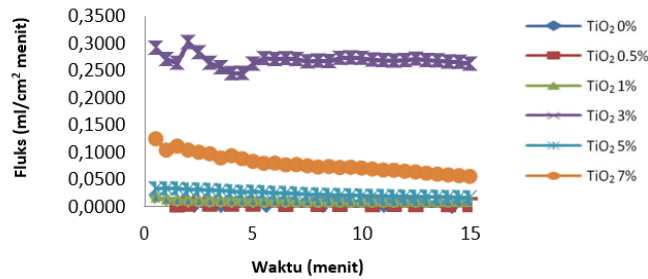
Gambar 1. Membran selulosa asetat

Nilai Fluks Air

Hasil uji fluks air dari membran selulosa asetat/ TiO_2 dapat terlihat pada tabel 1. Penambahan TiO_2 pada selulosa asetat dapat mempengaruhi nilai fluks air membran yang dihasilkan. Dengan penambahan TiO_2 nilai fluks air membran akan semakin meningkat, hal ini disebabkan pori-pori membran selulosa asetat bertambah banyak ataupun ukurannya bertambah besar sehingga TiO_2 dapat meningkatkan porositas membran selulosa asetat. Dengan menggunakan metode *cross flow*, nilai fluks tertinggi dihasilkan oleh membran selulosa asetat dengan penambahan TiO_2 sebanyak 3% diikuti penambahan TiO_2 7%, 5%, 1% dan 0,5%. Semakin besarnya nilai fluks membran selulosa asetat dengan penambahan TiO_2 menandakan adanya perubahan pori-pori membran. Kemungkinan pori-pori membran bertambah besar ataupun bertambah banyak jumlahnya. Nilai fluks membran selulosa asetat dengan penambahan TiO_2 sebanyak 3% lebih besar dibanding membran lainnya. Hal ini dapat disebabkan jumlah pori yang lebih banyak atau pun lebih besar dibanding pori membran yang lain. Hal ini dimungkinkan adanya ikatan antara TiO_2 , selulosa asetat dan asam asetat sebagai pelarut yang menyebabkan pori-pori bertambah besar ataupun bertambah banyak. Dari Gambar 2 terlihat bahwa nilai fluks membran menurun dengan bertambahnya waktu, hal ini terlihat pada membran selulosa asetat dengan penambahan TiO_2 0.5%, 1%, 5%, dan 7%, juga pada membran selulosa asetat tanpa penambahan TiO_2 . Tetapi pada penambahan TiO_2 3% nilai fluks membran tidak turun secara signifikan hal ini karena pada proses *crossflow* dapat mengurangi nilai *fouling* yang kemungkinan terjadi saat proses filtrasi atau memang tidak terjadi *fouling*

Tabel 1. Nilai fluks air dari membran selulosa asetat dengan penambahan TiO_2 menggunakan metode *cross flow* dan *dead end* selama 15 menit

Konsentrasi TiO_2 (%)	Nilai Fluks Air (ml/cm ² menit)	
	<i>Cross flow</i>	<i>Dead end</i>
0,0	0,0014-0,0018	0,0039-0,0041
0,5	0,0035-0,0042	0,0088-0,0125
1,0	0,0079-0,0166	0,0255-0,0500
3,0	0,2630-0,2920	0,3033-0,7500
5,0	0,0170-0,0330	0,0558-0,1500
7,0	0,0560-0,1250	0,2058-0,3750

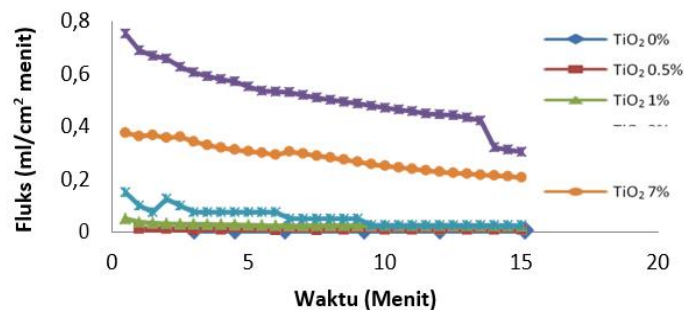


Gambar 2. Hubungan antara fluks air dan waktu pada sistem *Cross flow*

Tetapi pada membran yang lain, penurunan fluks dapat terjadi karena kemungkinan pada umpan yang berupa aquades masih terdapat partikel-partikel yang lain yang dapat menyumbat pori membran.

Sebagaimana terjadi pada sistem *cross flow*, penambahan TiO₂ pada sistem *dead-end* pun dapat meningkatkan nilai fluks membran. Peningkatan nilai fluks ini terjadi karena bertambahnya jumlah pori membran atau bertambah besarnya pori membran. Peningkatan nilai fluks membran yang signifikan terjadi pada membran dengan penambahan TiO₂ 3%, 7%, dan 5% dengan kisaran nilai fluks berturut-turut 0.3033-0.7500 ml/cm²menit, 0.2058-0.3750 ml/cm²menit, dan 0.0558-0.1500 ml/cm²menit. Sedangkan pada penambahan TiO₂ 0.5% dan 1% peningkatannya tidak terlalu signifikan dibanding membran selulosa asetat tanpa penambahan TiO₂. Hal ini sebagaimana terlihat pada Gambar 3.

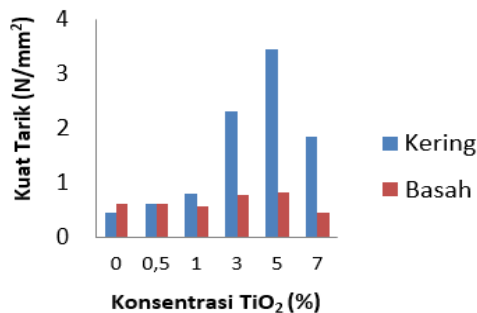
Penambahan TiO₂ 3%, 5%, dan 7% kemungkinan dapat menyebabkan pori membran jauh lebih besar ataupun lebih banyak dari penambahan TiO₂ 0.5% dan 1%. Peningkatan nilai fluks ini kemungkinan terjadi karena adanya interaksi antara TiO₂ dan selulosa asetat yang dapat menimbulkan rongga antara kedua bahan tersebut. Karena TiO₂ tidak seluruhnya larut melainkan hanya tersuspensi dan berada dalam matriks selulosa asetat yang larut dalam asam asetat. Pada Gambar 3 terlihat bahwa nilai fluks akan menurun seiring bertambahnya waktu filtrasi, hal ini terjadi karena pada sistem *Dead end* akan terjadi *fouling* yang menyebabkan nilai fluks akan terus menurun seiring bertambahnya waktu filtrasi (Siburian, 2006)



Gambar 3. Hubungan antara fluks air dan waktu pada sistem *dead end*

Sifat Mekanik Membran Selulosa Asetat dengan Penambahan Berbagai Konsentrasi TiO₂

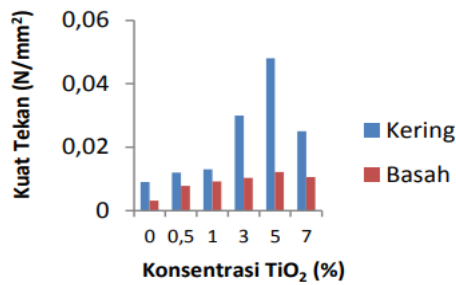
Sifat mekanik yang diuji pada membran selulosa asetat berupa uji tarik, tekan dan getar. Pada uji tarik, membran dipotong dengan ukuran 20 x 40 mm dan diuji dalam keadaan basah dan kering. Nilai kuat tarik membran selulosa setat dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai kuat tarik membran dalam keadaan kering semakin tinggi dengan penambahan konsentrasi TiO₂. Nilai kuat tarik membran selulosa asetat tanpa penambahan TiO₂ yaitu sebesar 0.442 N/mm². Setelah ditambahkan TiO₂ dengan konsentrasi 0.5, 1, 3, 5 dan 7% nilai kuat tarik membran meningkat menjadi 0.614 N/mm², 0.808 N/mm², 2.314 N/mm², 3.433 N/mm² dan 1.844 N/mm².



Gambar 4. Pengaruh penambahan TiO₂ terhadap kuat tarik membran

Nilai kuat tarik membran akan naik seiring dengan penambahan TiO₂ sampai konsentrasi 5%, kemudian turun pada konsentrasi 7%. TiO₂ yang merupakan bahan kristal mampu menambah nilai kuat tarik pada membran selulosa asetat yang bersifat amorf. Penambahan konsentrasi TiO₂ 7% pada membran selulosa asetat sudah tidak lagi efektif, hal ini ditandakan dengan struktur membran yang lebih kaku dan mudah untuk patah. Uji tarik membran dilakukan juga dalam keadaan basah, dimana terjadi perbedaan nilai kuat tariknya dari kondisi awal membran. Nilai kuat tarik akan turun ketika diuji dalam keadaan basah, hal ini terjadi pada konsentrasi 1%, 3%, 5%, dan 7%. Tetapi pada konsentrasi 0% dan 0.5% nilai kuat tarik menjadi naik. Pada konsentrasi 0% dalam keadaan basah, nilai kuat tarik naik menjadi 0,617 N/mm². Pada konsentrasi 0.5% nilai kuat tarik pun naik menjadi 0,622 N/mm². Sedangkan pada penambahan konsentrasi 1%, 3%, 5%, dan 7%, nilai kuat tarik dalam kondisi basah akan turun dari nilai semula menjadi 0.575, 0.781, 0.822 dan 0.444 N/mm². Penurunan nilai kuat tarik pada kondisi ini mungkin disebabkan adanya penetrasi molekul-molekul air ke dalam matrik polimer membran, sehingga menimbulkan penggelembungan (*swelling*) pada membran dan mengakibatkan terjadinya slip antar molekul-molekul selulosa pada saat membran ditarik.

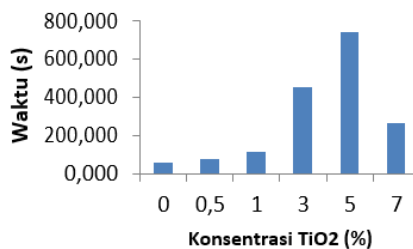
Pada uji tekan membran yang memiliki ketebalan 0.06 mm di potong dengan ukuran 20 x 40 mm, kemudian ditekan dalam keadaan kering dan basah dengan alat penekan yang mempunyai jari-jari sebesar 5.5 mm. Nilai kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai kuat tekan dalam keadaan kering akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi TiO₂ yang ditambahkan pada membran. Terlihat pada Gambar. 5 dimana nilai kuat tekan maksimum terjadi pada konsentrasi penambahan TiO₂ 5% yaitu sebesar 0.048 N/mm²



Gambar 5. Pengaruh penambahan TiO₂ terhadap kuat tekan membran

Hal ini karena struktur TiO₂ yang kristal yang menjadikan membran semakin kuat. Tetapi saat konsentrasi 7% nilai kuat tekan akan turun menjadi 0.025 N/mm², hal ini karena saat penambahan TiO₂ sebesar 7% sudah tidak optimum lagi, yang menyebabkan struktur membran kaku dan mudah patah. Dalam keadaan basah, kuat tekan membran akan berubah dari nilai awal. Dimana nilai kuat tekan akan menurun. Pada membran selulosa asetat tanpa penambahan TiO₂ dalam kondisi kering, memiliki nilai kuat tekan sebesar 0,009 N/mm² tetapi dalam kondisi basah nilai nya akan menurun menjadi 0,003 N/mm². Begitupun pada penambah TiO₂ dengan konsentrasi 0,5%, 1%, 3%, 5%, dan 7% nilai kuat tekan akan turun dari nilai kuat tekan awalnya menjadi 0.008, 0.009, 0.010, 0.012, dan 0.011 dalam satuan N/mm².

Uji getar dilakukan untuk mengetahui banyaknya jumlah getaran sampai membran putus. Frekuensi yang digunakan yaitu sebesar 30 Hz. Hubungan antara penambahan konsentrasi TiO₂ dan waktu sampai membran putus sebagaimana terlihat pada Gambar 13. Penambahan TiO₂ pada membran selulosa asetat dapat meningkatkan daya tahan membran terhadap getaran, hal ini terlihat dari lamanya waktu yang dapat ditahan membran sampai membran putus. Pada konsentrasi 5% TiO₂ memiliki daya tahan yang baik terhadap getaran dibanding dengan membran yang lain. Hal ini menandakan penambahan TiO₂ yang optimum pada membran selulosa asetat terjadi pada konsentrasi 5%. Dengan bertambahnya konsentrasi TiO₂ pada membran, maka membran akan semakin elastis sehingga sulit untuk putus.

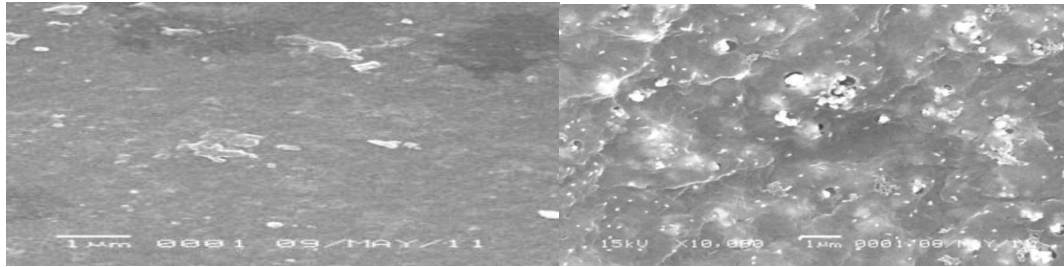


Gambar 6. Pengaruh penambahan TiO₂ terhadap daya tahan membran

Morfologi Membran Selulosa Asetat dengan Berbagai Konsentrasi TiO₂

Gambar 7 merupakan hasil dari SEM permukaan membran selulosa asetat. Pada Gambar 7.a dapat terlihat bahwa membran selulosa asetat murni memiliki permukaan yang lebih halus dan pori yang kecil bila dibandingkan dengan membran selulosa asetat/TiO₂ 5%, sehingga nilai fluks membran pun lebih kecil dibandingkan dengan membran selulosa asetat

dengan penambahan TiO_2 . Hasil SEM membran selulosa asetat dengan penambahan TiO_2 5% terlihat pada Gambar 7.b dimana permukaannya yang lebih kasar dari membran selulosa asetat tanpa penambahan TiO_2 . TiO_2 yang ditambahkan pada membran selulosa asetat, tidak seluruhnya larut melainkan tersuspensi dan berada dalam matriks selulosa asetat yang larut dalam asam asetat. Jika TiO_2 tidak seluruhnya larut, maka akan ada gelembung udara yang terperangkap dalam larutan yang akan dicetak sehingga proses pencetakan membrane tidak rata.



(a)

(b)

Gambar 7. Hasil SEM permukaan membran dengan perbesaran 10.000x (a) Tanpa TiO_2 (b) dengan penambahan 5% TiO_2

KESIMPULAN

Membran selulosa asetat dengan penambahan TiO_2 memiliki nilai fluks air yang lebih besar dibanding dengan membran selulosa asetat tanpa penambahan TiO_2 . Penambahan TiO_2 juga dapat meningkatkan nilai kuat Tarik dan tekan membran selulosa asetat. Dalam keadaan basah, nilai kuat tarik dan tekan akan menurun bila dibandingkan dengan kondisi kering. Tetapi ada penyimpangan pada kuat tarik, yaitu pada konsentrasi 0% dan 5% nilai kuat tarik lebih besar dibanding pada kondisi kering. Pada uji getar, membran selulosa dengan konsentrasi 5% TiO_2 memiliki daya tahan yang baik terhadap getaran. Dengan meningkatnya sifat mekanik membran, maka membran akan semakin baik saat digunakan. Dari hasil SEM (*Scanning electron microscopy*), membran selulosa asetat dengan penambahan TiO_2 memiliki permukaan yang lebih kasar dibanding permukaan membran selulosa asetat tanpa TiO_2 , karena TiO_2 hanya tersuspensi pada matriks selulosa asetat, sehingga menyebabkan permukaannya lebih kasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, F. (2008). Kajian Sifat Listrik Membran Selulosa Asetat yang Direndam dalam Larutan Asam Klorida dan Kalium Hidroksida [skripsi]. Bogor. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
- Gunlazuardi, J *et al.* (2009). Pengembangan Metode Baru Penentuan Chemical Oxygen Demand (COD) Berbasis Sel Fotoelektrokimia: Karakterisasi Elektroda Kerja Lapis Tipis TiO_2/ITO . Makara, Sains 13(1): 1-8.
- Mulder, M. (1996). *Basic and Principles of Membrane Technology*. London: Kluwer.

- Rachmadetin, J. (2007). Pencirian Membran Komposit Selulosa Asetat Berbahan Dasar Limbah Tahu Menggunakan Polistirena. [skripsi]. Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Petanian Bogor.
- Radiman, Eka. (2001). Pengaruh Jenis dan Temperatur Koagulan Terhadap Morfologi dan Karakteristik Membran Selulosa Asetat. *Makara, Sains* 11(2): 80-84.
- Rohman, Saepul.(2009). *Membran Polisulfon Sintetik*. <http://majarimagazine.com/2009/05/membran-polisulfon-sintetik/>. [27 November 2010]
- Samsiah, R. (2009). Karakterisasi Biokomposit Apatit-Kitosan dengan XRD (*X-Ray Diffraction*), FTIR (*Fourier Transform Infrared*), SEM (*Scanning Electron Microscop*), dan Uji Mekanik. [skripsi]. Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Petanian Bogor.
- Sembiring, R.S. (2005). Preparasi dan Karakterisasi Membran Berbahan Dasar Polisulfon Menggunakan Pelarut *Dimetilacetamid* (DMAc) [skripsi]. Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Petanian Bogor
- Siburian, M.P. (2006). Kajian Efektifitas Membran Polisulfon untuk Desinfeksi Air [skripsi].Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Petanian Bogor.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia.(1991). Selulosa asetat. SNI 06-2115-1991. Jakarta: Dewan Standardisasi Nasional Widiastuti N, loc.it
- Wardhani, L.Y. (2010). Kajian Sifat Listrik Membran Polisulfon Hasil sonokasi Pada Frekuensi Rendah. [Skripsi]. Bogor: Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.
- Widiastuti, Nm. (1998). Pengaruh $ZnCl_2$ sebagai Aditif terhadap Karakteristik Membran Polisulfon untuk Proses Ultrafiltrasi [tesis]. Bandung. Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung

