



**PENGARUH PENAMBAHAN NANO- ZnO dan NANO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> SEBAGAI AGEN ANTI BAKTERI DALAM PEMBUATAN MEMBRAN SELULOSA ASETAT-KITOSAN TERHADAP BIOFOULING YANG DISEBABKAN OLEH BAKTERI GRAM NEGATIF**

**Ulva Yuni <sup>\*</sup>), Titik Istirokhatun <sup>\*\*</sup>), Heru Susanto <sup>\*\*</sup>)**

1) Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik ,Universitas Diponegoro

2) Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik ,Universitas Diponegoro

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl.Prof.H.Sudarto,SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

email: [ulvayuni12@gmail.com](mailto:ulvayuni12@gmail.com)

**Abstrak**

*Biofouling akibat keberadaan bakteri dalam air menjadi salah satu kendala dalam teknologi membran terutama membran selulosa asetat. Walaupun kitosan telah ditambahkan namun belum optimal dalam mencegah fenomena ini. Sehingga dalam penelitian ini membran selulosa asetat-kitosan dibuat dengan blending nanopartikel ZnO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> variasi konsentrasi 0-4% untuk meningkatkan sifat antibakteri membran. Untuk mengetahui pengaruh penambahan kedua nanopartikel terhadap karakteristik membran dan membandingkan keefektifan antara keduanya maka dilakukan beberapa uji karakterisasi yang meliputi uji fluks, analisa gugus fungsi (FTIR), dan morfologi membran (SEM) serta uji antibakteri dengan metode zona hambat. Diperoleh nilai fluks membran modifikasi optimum pada konsentrasi nano-ZnO 2% senilai 169.37 (L.m<sup>-2</sup>.jam<sup>-1</sup>) dan nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3% senilai 757.49(L.m<sup>-2</sup>.jam<sup>-1</sup>). Morfologi dan susunan gugus fungsi dalam matriks membran dapat dilihat dengan uji SEM dan FTIR. Bakteri yang digunakan sebagai uji sifat antibakteri membran adalah bakteri E.coli. Dari uji zona hambat terlihat penambahan nanopartikel belum menghasilkan sifat antibakteri yang optimal dimana zona bening yang terbentuk tipis pada konsentrasi ZnO 1% dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1 %. Nanopartikel dalam konsentrasi tinggi memicu terjadinya aglomerasi yang menyebabkan berkurangnya sifat antibakteri.*

**Kata kunci :** *Biofouling, nanopartikel ZnO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, antibakteri, E.coli*

**Abstract**

*[Effect of Addition nano-ZnO and nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as Anti Bacteria Agents in Prepared Cellulose Acetate –Chitosan Membrane to Biofouling Caused by Gram Negative Bacteria]. Biofouling due to existence of bacteria in water becoming one of barrier in membrane technology with cellulose acetate membrane. Although chitosan has been added but it doesnt give an optimal prevent yet. With the result that in this study cellulose acetate-chitosan membrane was made with blending nanoparticle ZnO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on various concentration 0-4 % to enhance antibacterial activity of membrane. To know the effect in addition of both nanoparticle toward*

*membrane characterization and compared effectiveness between them so there are some test include flux test, FTIR, and SEM also antibacterial test with inhibition zone method. From the research we know that flux membrane become an optimum at the concentration 2% for ZnO about  $169.37 (L.m^{-2}.h^{-1})$  and 3% for  $Al_2O_3$  about  $757.49(L.m^{-2}.h^{-1})$ . Morphology and functional group of membrane can see by SEM and FTIR. Bacteri that we use on this study is *E.coli*. From inhibition zone method it seems that addition of nanoparticle not give an optimal clear zone yet which was the clear zone become thin at concentration ZnO 1% and  $Al_2O_3$  1%. Nanoparticle on high concentration easy to make an agglomeration who cause the antibacterial activity decreased.*

**Keywords:** *Biofouling, ZnO and  $Al_2O_3$  nanoparticles, antibacterial activity, E.coli*

## PENDAHULUAN

Teknologi membran semakin banyak dikembangkan saat ini, terutama dalam pengolahan air bersih dan air buangan. (Mulder,1997). Salah satu membran yang banyak digunakan adalah membran Selulosa asetat karena bahan baku yang tersedia melimpah di alam dan aplikasinya yang sederhana. Namun membran selulosa asetat bersifat biodegradabel sehingga rentan terjadi biofouling (Susanto,2011) sehingga menurunkan performa membran dan menjadi salah satu kelemahan dalam teknologi membran. Biofouling disebabkan oleh adanya bakteri, fungi atau mikroba air lainnya yang membentuk biofilm di permukaan membran. Modifikasi permukaan membran menjadi salah satu alternatif yang banyak dikembangkan saat ini, seperti dengan penambahan kitosan (Liu et al.2010)

Dalam penelitian terdahulu membran Selulosa asetat telah dimodifikasi dengan kitosan untuk meningkatkan sifat antibakterinya. Kitosan memiliki sifat tidak beracun, dan telah banyak diaplikasikan dalam industri makanan, farmasi, tekstil,

agrikultur, pengolahan air dan lain-lain (Kong et al.2010).Kitosan dalam membran selulosa asetat dapat mengurangi biofouling (Liu et al.2010) namun belum efektif karena kitosan dalam bentuk padatan (membran) akan kehilangan muatan positifnya akibat perendaman membran sehingga menurunkan sifat antibakteri kitosan (Ma et al.2008). Penambahan aditif lain diperlukan untuk memperbaiki kelemahan tersebut, seperti penambahan nanopartikel (Liu et al.2010).

Beberapa jenis nanopartikel telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, diantaranya adalah nanopartikel  $Al_2O_3$  dan nanopartikel ZnO yang tergolong metal oksid nanopartikel. Nano- $Al_2O_3$  banyak digunakan dalam beberapa bidang industri serta mulai dikembangkan dalam teknologi membran sebagai aditif (Yan et al.2006). Nano- $Al_2O_3$  memiliki karakteristik diantaranya bersifat stabil, hidrofilik dan dapat meningkatkan ketahanan mekanik. (Liu et al.2011). Nanopartikel  $Al_2O_3$  dapat meningkatkan kemampuan antiadhesi membran sehingga mengurangi lapisan biofilm yang terbentuk (Dong et al.2015) serta meningkatkan sifat hidrofilik membran (Yan et al.2005). Nano-

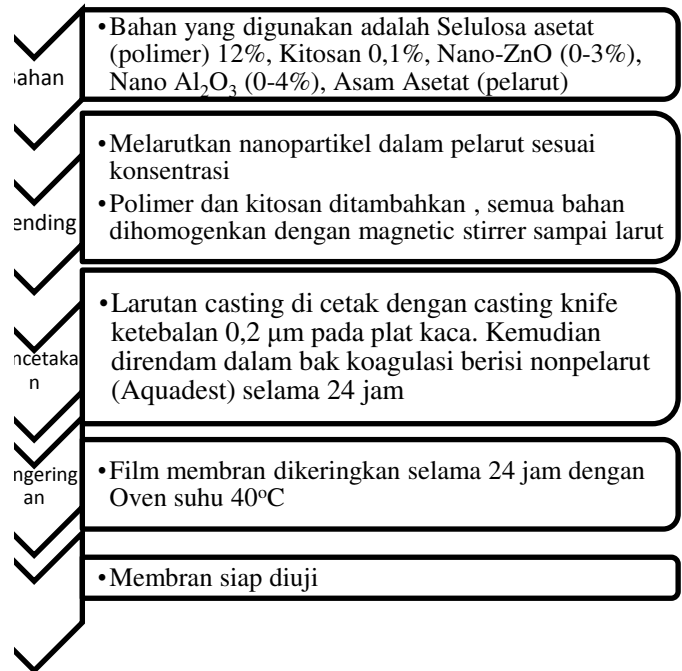
ZnO juga memiliki sifat hidrofilik, katalisis, antibakteri dan bakterisida yang baik (Sharma et al.2010). Sehingga sifat nano-ZnO tersebut juga dapat diaplikasikan dalam modifikasi membran terutama dalam meningkatkan sifat hidrofilik dan antifouling membran (Zhao et al.2015).

Untuk mengatasi masalah biofouling dalam pengolahan air menggunakan membran Selulosa asetat-Kitosan maka digunakan nanopartikel ZnO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai aditif pada penelitian ini. Pengaruh yang akan dilihat yaitu terhadap permeabilitas membran, morfologi membran, gugus fungsi kimia permukaan dan sifat antibakteri dari membran.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Pembuatan Membran

Terdapat dua jenis membran modifikasi yang dibuat, yaitu membran Selulosa asetat-Kitosan/Nano ZnO dan Membran Selulosa asetat-Kitosan/Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Metode pembuatan larutan casting yang digunakan adalah dengan blending dan pencetakan membran menggunakan metode NIPS (*Non-solvent Induced Phase Separation*). Pembuatan membran dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Proses Pembuatan Membran

### 2.2 Uji fluks air murni

Permeabilitas membran dapat diketahui dengan melakukan pengukuran fluks menggunakan sistem filtrasi *dead end stirrer cell* (sel amicon model 8010). Mengisi amicon dengan aquadest 10 ml dan diputar dengan kecepatan putaran tetap 300 rpm. Melakukan kompaksi pada tekanan 3.5 bar selama 30 menit. Kemudian dilakukan pengukuran volume fluks air murni sebanyak 3 kali pengukuran dengan rentang waktu 5 menit pada tekanan 3 bar. Menimbang permeat hasil pengukuran untuk mengetahui volumenya. Persamaan yang digunakan untuk menghitung fluks air murni adalah :

$$j = \frac{Q}{t \cdot A}$$

Keterangan : Q = Volume cairan yang melewati membran (L)

t = Waktu (jam)

j = Flux (L/m<sup>2</sup>.jam)

A= Luas Membran(m<sup>2</sup>)

### 2.3 Morfologi Permukaan Membran

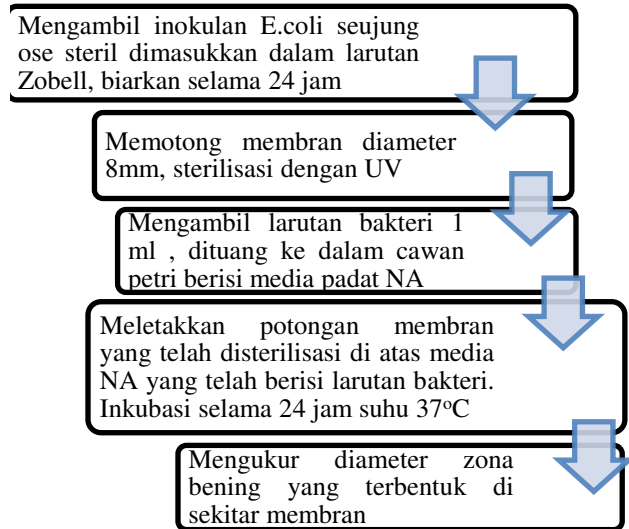
Uji morfologi permukaan membran dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Bagian atas permukaan membran diamati dengan menggunakan Quanta 400 FEG (FEI) *Environmental Scanning Electron Microscope* (ESEM) pada kondisi vakum tinggi standar. Sebelum diamati, permukaan luar sampel dilapisi dengan emas/palladium.

### 2.4 Kimia Permukaan

Analisis gugus fungsional pada permukaan membran dilakukan dengan menggunakan alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Membran kimia permukaan dianalisis dengan menggunakan varian 3100 FTIR seri Excalibur. Untuk menganalisis, dilakukan 64 scan pada resolusi 4 cm<sup>-1</sup>.

### 2.5 Uji antibakteri

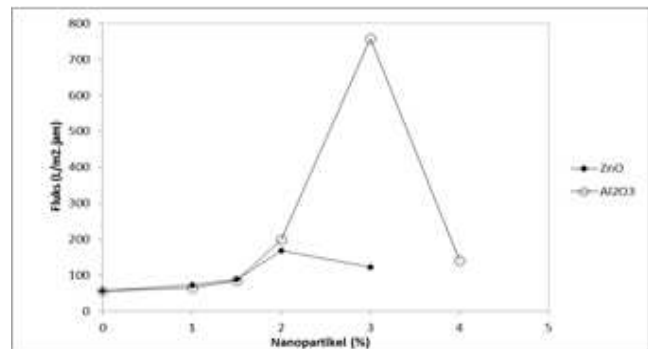
Uji antibakteri pada membran yang dilakukan dengan metode zona hambat (*inhibition zone*) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Uji Antibakteri Zona Hambat

## 3.HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Fluks air murni



Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi nanopartikel dan Fluks Air Murni

Dari Gambar 3. Terlihat pada membran modifikasi nano-ZnO 2% nilai fluks lebih tinggi dibanding membran 0% dan 1% aditif. Nilai fluks membran modifikasi nano-ZnO 2% sebesar 169.37 (L.m<sup>-2</sup>.jam<sup>-1</sup>). Untuk membran modifikasi nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nilai fluks membran juga mengalami kenaikan dengan penambahan

nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$  konsentrasi 1- 3 %. Nilai fluks optimum pada konsentrasi aditif 3% sebesar  $757.49 \text{ (L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1})$ .

Penambahan nanopartikel dapat mempengaruhi aspek kinetik perpindahan pelarut dan nonpelarut pada proses koagulasi membran. Kehadiran nanopartikel mempercepat terjadinya pertukaran antara pelarut dan non-pelarut sehingga membran yang terbentuk memiliki pori yang lebih terbuka, peristiwa ini disebut *instantaneous demixing*. Hal ini dijelaskan oleh Ivars et al. (2014) bahwa nanopartikel dapat menurunkan interaksi antara polimer dan pelarut sehingga pelarut dapat dengan mudah terdifusi ke dalam non pelarut saat perendaman (dalam bak koagulasi).

Nano-ZnO dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat meningkatkan sifat hidrofilik membran sehingga molekul air yang dapat lolos lebih banyak dan nilai fluks meningkat. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, Balta et al.(2012) menyatakan bahwa nanopartikel dapat meningkatkan sifat hidrofilitas membran karena energi permukaan yang tinggi sehingga meningkatkan absorpsi molekul air di permukaan membran. Namun penggunaan nanopartikel konsentrasi tinggi juga dapat menurunkan nilai fluks. Dapat dilihat pada Gambar 3. ketika konsentrasi nanopartikel ZnO 3% dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  4% nilai fluks turun berturut-turut sebesar  $123.03 \text{ (L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1})$  dan  $140,79 \text{ (L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1})$ . Hal ini kemungkinan disebabkan oleh menurunnya laju penyebaran nanopartikel di permukaan membran karena adanya aglomerasi (penumpukan) nanopartikel sehingga menurunkan sifat hidrofilitas

membran (Liu et al.2011). Terjadinya penumpukan nanopartikel pada pori membran dijelaskan Ivars et al.(2014) akibat adanya gaya Van der Waals (tarik menarik) antar nanopartikel. Semakin tinggi konsentrasi nanopartikel maka tarik menarik antar partikel tersebut akan semakin besar. Liang et al.(2012) juga menjelaskan bahwa nanopartikel dalam konsentrasi tinggi dapat mengubah mikrostruktur dari membran (pori membran) dan menurunkan permeabilitas membran.

### 3.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

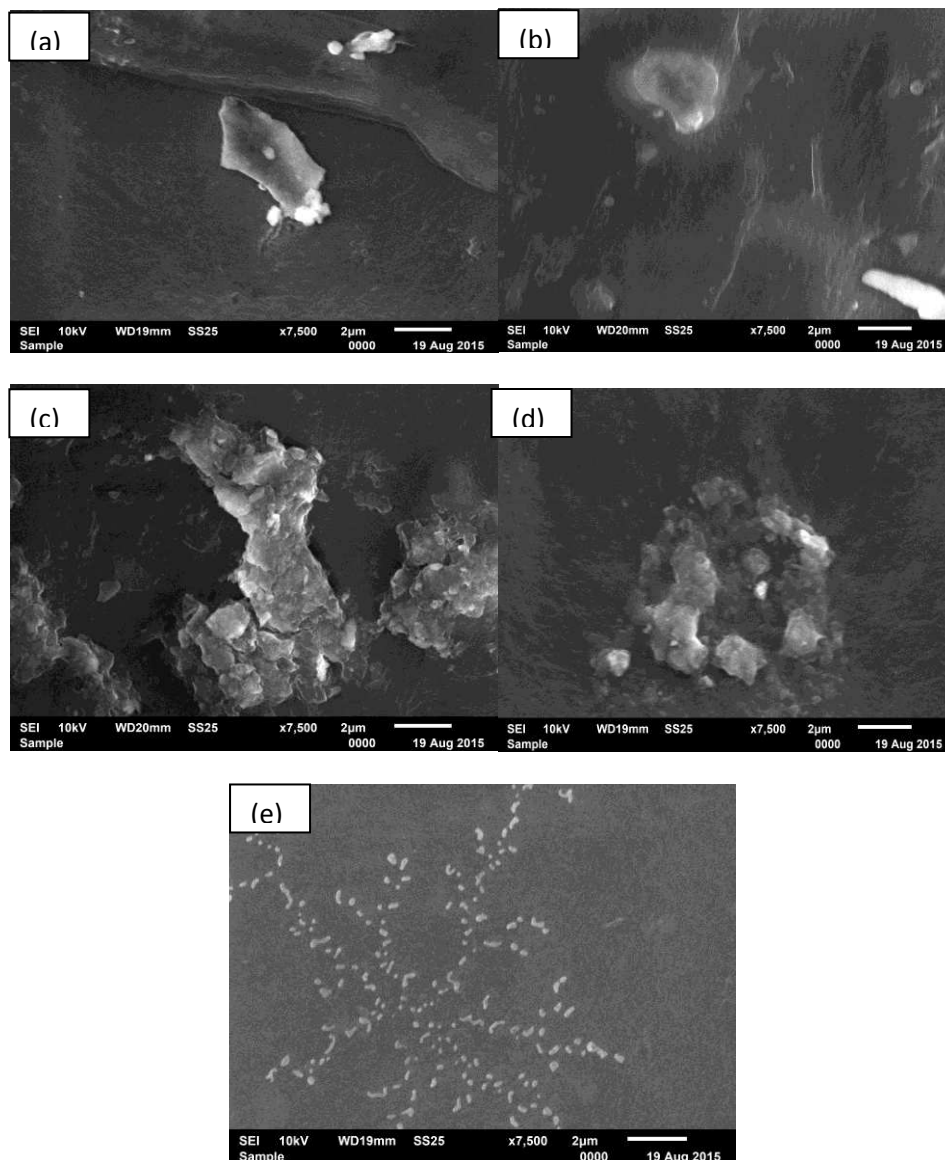
Gambar 4. memperlihatkan hasil SEM permukaan membran untuk membran CA-Kitosan dan membran CA-Kitosan/nanopartikel. Terlihat perbedaan morfologi permukaan untuk masing-masing membran modifikasi jika dibandingkan dengan membran nonmodifikasi. Pada membran CA-Kitosan/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  3% terlihat ukuran pori yang besar dan terdapat tumpukan yang kemungkinan merupakan agregat nanopartikel di permukaan membran yang menutupi pori-pori membran. Dalam penelitian terdahulu menyatakan bahwa keberadaan nanopartikel dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan adanya penumpukan partikel yang menutupi pori membran (Liu et al.2011).

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini ukuran pori membran modifikasi nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$  lebih besar dibandingkan membran tanpa nanopartikel. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Wara et al.(1995) yang

menyatakan bahwa penambahan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mempengaruhi proses inversi fasa yang mempengaruhi terhadap ukuran pori membran.

Pada membran CA-Kitosan/ $\text{ZnO}$  pori membran terlihat lebih besar pada konsentrasi 1% dibandingkan membran CA-Kitosan/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Sehingga nilai fluks pada konsentrasi 1% lebih besar dibandingkan

$\text{Al}_2\text{O}_3$ . Namun pada konsentrasi 2% terlihat pori yang semakin rapat. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh keberadaan nanopartikel  $\text{ZnO}$  dalam polimer dapat meningkatkan kekentalan larutan sehingga menurunkan kecepatan difusi pelarut ke dalam nonpelarut selama proses inversi fasa yang akhirnya menyebabkan terbentuknya membran dengan pori rapat (Wang et al.2009).



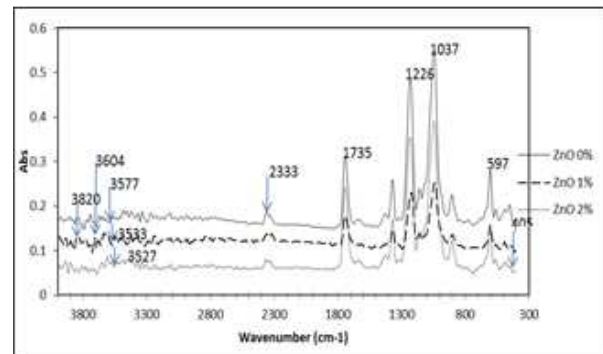
Gambar 4. SEM permukaan membran (a) CA-Kitosan (b) CA-Kitosan/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1% (c) CA-Kitosan/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3% (d) CA-Kitosan/ZnO 1% (e) CA-Kitosan/ZnO 2%

### 3.3 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Hasil FTIR membran Selulosa aasetat-Kitosan/nanopartikel dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Puncak pada daerah gelombang 3820 dan 3604 cm<sup>-1</sup> pada grafik Gambar 5. mewakili adanya gugus hidroksil dalam ikatan O-H dan N-H. Karakteristik peak untuk O-H berada pada daerah sekitar 3600 cm<sup>-1</sup> (Anitha et al.2012). Peak pada daerah bilangan gelombang 2333 cm<sup>-1</sup> mewakili muatan NH<sup>+</sup> dalam ikatan C=NH<sup>+</sup> yang berada dalam rentang daerah serapan 2500-2325 cm<sup>-1</sup> (Mistry, 2009). Pada daerah gelombang 3577 cm<sup>-1</sup> terjadi pergeseran peak pada membran modifikasi nanopartikel ZnO menjadi 3533 cm<sup>-1</sup> dan 3527 cm<sup>-1</sup>. Hal ini menandakan telah terjadi interaksi antara nanopartikel dan polimer pada membran.

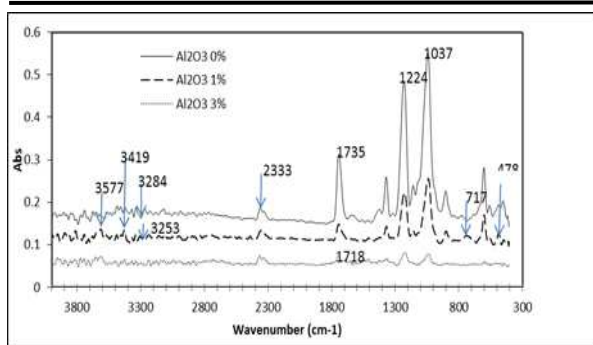
Tiga puncak tajam yang dimiliki oleh ketiga membran berada pada daerah serapan 1735 cm<sup>-1</sup>, 1226 cm<sup>-1</sup>, dan 1037 cm<sup>-1</sup> yang mewakili keberadaan gugus karbonil (C=O), gugus ester (C-O) (Anitha et al.2012). Begitu juga pada membran modifikasi nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki puncak di daerah yang sama. Dimana untuk gugus karbonil berada dalam rentang daerah serapan 1820-1600 cm<sup>-1</sup>, gugus ester yang memunculkan serapan C-O berada dalam rentang 1300-1000 cm<sup>-1</sup>, (Anitha et al.2012)

Pada daerah 405 cm<sup>-1</sup> terdapat peak lemah ZnO, dimana daerah serapan gugus fungsi pada bilangan 600-400 cm<sup>-1</sup> merupakan serapan khas dari gugus Zn-O (AbdElhady. 2012).



Gambar 5. Analisa FTIR membran SA-Kitosan dan membran SA-Kitosan/Nano-ZnO

Daerah serapan 3419 cm<sup>-1</sup> pada Gambar 6. mewakili gugus amida (N-H) serta gugus hidroksil dalam ikatan O-H (Gandhi et al.2010). Pergeseran peak terjadi pada daerah bilangan gelombang 3284 cm<sup>-1</sup> menjadi 3253 cm<sup>-1</sup>. Peak pada daerah bilangan gelombang 717 cm<sup>-1</sup> mewakili keberadaan nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam membran. Dalam literatur dinyatakan bahwa rentang *peak* pada 1000-500 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan terdapatnya susunan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam regang Al-O (Saleh et al. 2012).



**Gambar 6. Analisa FTIR membran SA-Kitosan dan membran SA-Kitosan/Nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

### 3.4 Uji Antibakteri

Gambar 7. memperlihatkan hasil zona hambat pada uji sifat antibakteri membran. Terlihat untuk membran modifikasi nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zona bening yang luas terbentuk pada konsentrasi nano 1% dan membran modifikasi nano-ZnO juga berada pada konsentrasi 1%. Sifat antibakteri membran lebih terlihat pada konsentrasi nanopartikel yang rendah. Hal ini dapat disebabkan karena terjadinya aglomerasi nanopartikel pada konsentrasi tinggi. Penumpukan tersebut menyebabkan berkurangnya senyawa oksida yang berperan dalam menghambat pertumbuhan bakteri (Anitha et al.2012). Juga terlihat bahwa membran tanpa nanopartikel zona bening yang terbentuk lebih luas.

Berdasarkan penelitian sebelumnya mekanisme antibakteri yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut : melalui gaya elektrostatis kitosan, nano ZnO dan ion Zn menempel pada permukaan membran sel bakteri yang bermuatan negatif sehingga menyebabkan denaturasi protein dan perubahan permeabilitas membran. Saat berikatan dengan sel bakteri ion Zn<sup>2+</sup> dari

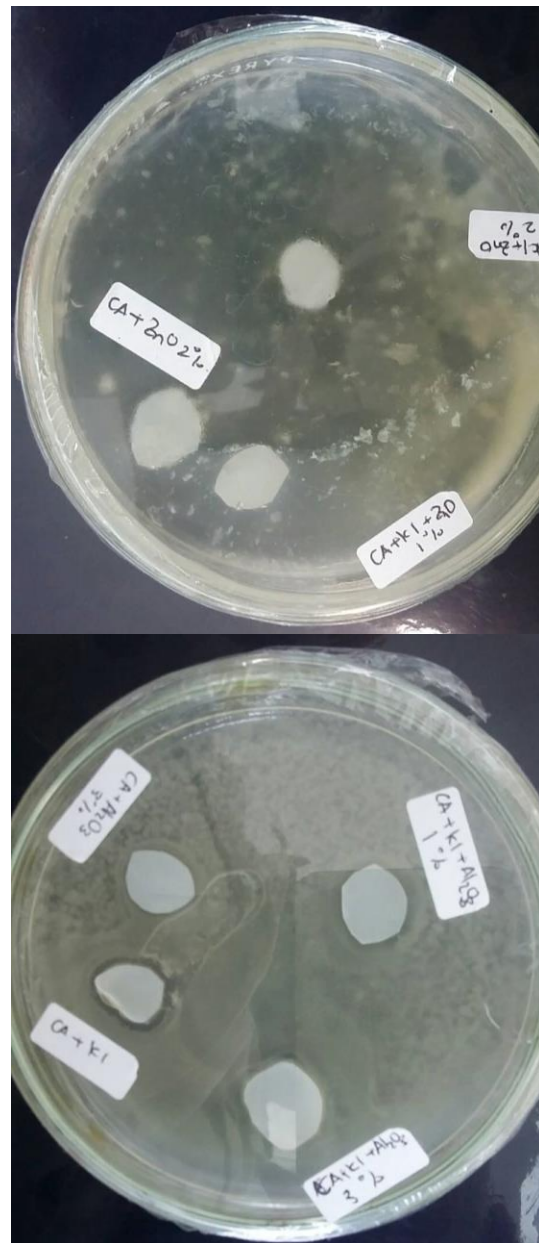
nano-ZnO akan merusak membran luar sel (Martins et al.2013). Hal ini menyebabkan kerusakan pada struktur membran sel. Kemudian senyawa ROS yang dihasilkan nano-ZnO menyebabkan kebocoran pada bagian dalam sel sehingga nano-ZnO dapat masuk melewati membran mengganggu metabolisme sel, DNA dan protein. Senyawa ROS ini mempercepat sel bakteri mengalami kerusakan dan mati (Martins et al.2013). Sementara kitosan dapat mengganggu molekul DNA dan RNA sehingga menghambat proses replikasi sel. Sel bakteri kemudian mengalami kerusakan dan perkembangannya menjadi terhambat. Akibat perkembangan yang terhambat maka muncul zona bening di sekitar membran filtrasi yang menandakan tidak ada aktivitas pertumbuhan bakteri (Wang et al.2012). Sifat antibakteri juga dipengaruhi oleh ukuran partikel.

Nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga dapat meningkatkan sifat antiadhesi membran sehingga dapat mencegah bakteri membentuk biofilm di permukaan membran. Dong et al.(2015) dalam penelitiannya menyatakan bahwa meningkatkan sifat antiadhesi permukaan membran juga penting dimana dapat mengurangi lapisan biofilm yang terbentuk dengan tidak adanya bakteri yang menempel di permukaan membran.

Pada konsentrasi tinggi baik nano-ZnO maupun nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menghasilkan sifat antibakteri yang rendah. Hal ini seperti dijelaskan sebelumnya akibat aglomerasi yang terbentuk pada nanopartikel dalam konsentrasi tinggi. Sehingga dalam penelitian ini hasil yang diperoleh membran



dengan modifikasi nanopartikel masih belum optimal sifat antibakterinya. Dalam penelitian Razmjou et al.(2011) untuk mencegah terjadinya aglomerasi maka dapat dilakukan dengan menggunakan metode “*silane coupling agent*” seperti dengan penambahan 3-methacryloyloxypropyl trimethoxysilane (MAPTMS), methacryloyloxy methylenemethyl diethoxysilane (MMDS) dan 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES). Penggunaan metode ini dapat menurunkan energi permukaan membran yang membantu dalam menurunkan penumpukan partikel.



Gambar 7. Hasil Uji Zona Hambat Membran CA-Kitosan dan CA-Kitosan/Nanopartikel

## KESIMPULAN

Modifikasi membran selulosa asetat-kitosan dengan nano ZnO dan nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menunjukkan karakteristik nilai fluks naik. Nilai fluks maksimum membran modifikasi berada pada konsentrasi nano ZnO 2%



(169.37  $L.m^{-2}.jam^{-1}$ ) dan nano  $Al_2O_3$  3%(757.49  $L.m^{-2}.jam^{-1}$ ). Keberadaan nanopartikel meningkatkan sifat hidrofilik membran selulosa asetat-kitosan selain dari nilai fluks juga dengan adanya peak baru pada FTIR. Hasil SEM memperlihatkan karakteristik nanopartikel yang mudah menggumpal sehingga menghambat pori membran saat konsentrasi tinggi, namun dapat dilihat adanya pori yang cukup besar pada membran. Uji antibakteri dengan metode zona hambat memperlihatkan membran dengan nanopartikel zona bening yang terbentuk lebih kecil dibandingkan membran tanpa nanopartikel dimana nano- $Al_2O_3$  1 % dan ZnO 1% zona beningnya lebih luas dibandingkan konsentrasi tinggi. Sehingga dibutuhkan metode modifikasi yang dapat mencegah terjadinya aglomerasi nanopartikel.

#### ACKNOWLEDGMENTS

Dalam penelitian ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Membrane Research Center UPT LAB TERPADU UNDIP yang telah mendanai penelitian ini.

#### REFERENSI

- Anitha, S., Brabu, B., Thiruvadigal, D., Gopalakrishnan, C., Natarajan, T.S. 2012. *Optical, bactericidal and water repellent properties of electrospun nano-composite membranes of cellulose acetate and ZnO*. Carbohydrate Polymers 87 : 1065-1072
- AbdElhady, M.M. 2012. *Preparation, Characterization of Chitosan/ZnO Nanoparticles for Imp arting Antimicrobial and UV Protection to Cotton Fabric*. International Journal of Carbohydrate Composite Vol.2012
- Balta S, A. Sotto, P. Luis, L. Benea, B.V Bruggen, J.Kim. 2012. *A New Outlook on Membrane Enhancement With Nano Particles: The Alternative of ZnO*. Journal of Membrane Science 389. 155-161
- Dong, Lei-xi., Yang H-w., Liu S-t., Wang X-m., Xie YF. 2015. *Fabrication and antibiofouling properties of Alumina and Zeolite nanoparticle embedded Ultrafiltration Membranes*. Desalination 365 : 70-78
- Gandhi, M.R, Viswanathan,N. Meenakshi,S. 2010. *Preparation and Application of Alumina/chitosan Biocomposite*. Int.J.Biological Macromol 47 : 146-154
- Ivars, J.G., Clar, Iborra M., Miranda, I.M., Bruggen-, Bart. 2015. *Comparison between hydrophilic and hydrophobic metal nanoparticles on the phase separation phenomena during formation of asymmetric polyethersulphone membranes*. J.Memb. Sci 492 : 709-722
- Ivars, J.G., Clar, Iborra M., Miranda, I.M., Mendoza-Roca, JA., Alcaniz, L.P. 2014. *Enhancement in hydrophilicity of different polymer phase inversion ultrafiltration membranes by introducing PEG/ $Al_2O_3$  nanoparticles*. Separt. Purf. Tech 128: 45-57
- Liu, C.X. D.R. Zhang, Yi He, X.S. Zhao, Renbi Bai. 2010. *Modification of Membrane Surface for Anti-biofouling*



- Performance : Effect of Anti-adhesion and Anti-bacteria Approaches.* Journal of Membrane Science 346 :121-130
- Liu,F., Abed,M.R.M., Li,K. 2011. *Preparation and Characterization of poly(vinylidene fluoride)(PVDF) based ultrafiltration membranes using nano  $\gamma$ - $Al_2O_3$ .* Jour.Memb.Sci 366: 97-103
- Ma,Y., Zhou,T., Zhao,C. 2008. *Preparation of Chitosan-nylon-6 Blended Membranes Containing Silver ions as Antibacterial materials.* Carbohydrate 343: 230-237
- Martins, NCT., Freire, CSR., Neto CP., Silvestre AJD., Causio J., Baldi G., Sadocco P., Trindade T.2013. *Antibacterial Paper based on Composite Coatings of Nanofibrillated Cellulose and ZnO.* Colloids. Surf. Physicochem. Eng 417 : 111-119
- Mistry, B.D. 2009. *A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry (UV,IR,PMR,CNMR and Mass Spectroscopy).* Jaipur,India: Oxford Book Company
- Mulder, M. 1997. *Basic Principles of Membrane Technology Second Edition.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Ramzjou, A. Mansouri, J. Chen, V. 2011. *The effects of mechanical and chemical modification of  $TiO_2$  nanoparticles on surface chemistry, structure and fouling performance of PES ultrafiltration membranes.* Journal of Membrane Science 378: 73-84
- Saleh, T.A., Gupta, V.K. 2012. *Synthesis and characterization of alumina-nanoparticles polyamide membrane with enhanced flux rejection performance*
- Sharma D., Rajput J., Kaith BS., Kaur M., Sharma S. 2010. *Synthesis of ZnO nanoparticles and study of their Antibacterial and Antifungal Properties.* Thin Solid Films 519 : 1224-1229
- Susanto, H. 2011. *Teknologi Membran.* Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang
- Wang,Y., Zhang,Q., Zhang,C.l., Li,P. 2012. *Characterisation and cooperative antimicrobial properties of chitosannano-ZnO composite nanofibrous membranes.* Food Chemistry 131:419-427
- Yan,L., Li,Y.S., Xiang,C.B. 2005. *Preparation of poly(vinylidene fluoride)(PVDF) ultrafiltration membrane modified by nano-sized alumina ( $Al_2O_3$ ) and its antifouling research.* Polymer 46: 7701-7706
- Yan,L., Li,Y.S., Xiang,C.B., Xianda,S.. 2006. *Effect of nano-sized  $Al_2O_3$ -particle addition on PVDF ultrafiltration membrane performance.* Jour.Membr.Sci 276: 162-167
- Zhao,S., Yan,W., Shi,M., Wang,Z., Wang,J., Wang,S. 2015. *Improving permeability and antifouling performance of polyethersulfone ultrafiltration membrane by incorporation of ZnO-DMF dispersion containing nano-ZnO and Polyvinylpyrrolidone.* Jour.Memb.Sci. 478: 105-116