



Anti-Biofouling Alami *Moringa oleifera* Sebagai Bahan Pengisi Membran Mixed Matrix Selulosa Asetat untuk Klarifikasi Jus Buah

Natural Anti-Biofoulant *Moringa oleifera* Impregnated Cellulose Acetate Mixed Matrix Membranes for Juice Clarification

Yusuf Wibisono^{1*}, Ashried Faradilla¹, Panggulu Ahmad Utoro², Agung Sukoyo², Ni'matul Izza¹, Shinta Rosalia Dewi¹

¹ Program Studi Teknik Bioproses, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran 1, Malang 65145.

² Program Studi Magister Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran 1, Malang 65145.

*E-mail: Y_Wibisono@ub.ac.id

Terima draft: 6 Juni 2018; Terima draft revisi: 20 Juli 2018; Disetujui: 28 Juli 2018

Abstrak

Teknologi membran banyak digunakan dalam pemisahan padatan terlarut dalam cairan, termasuk dalam pengolahan pangan misalnya klarifikasi jus buah. Namun salah satu faktor penghambat utama penggunaan membran adalah terjadinya fouling yang berpotensi menurunkan kualitas produk. Dalam proses klarifikasi jus buah, membran berpotensi mengalami fouling karena material biologis. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis membran mixed matrix dengan bahan pengisi alami yang bersifat antibiofouling. Antibiofouling alami seperti biji kelor *Moringa oleifera* berpotensi untuk digunakan sebagai agen pencegah biofouling pada proses membran karena mengandung fenol. Pada penelitian ini, menggunakan metode ekstraksi menggunakan gelombang mikro, diketahui kandungan total fenol ekstrak biji kelor sebesar 123,61 mg/g ekstrak. Ekstrak ditambahkan sebagai bahan pengisi dengan konsentrasi yang berbeda pada larutan cetak membran selulosa asetat dengan pelarut dimetil formamida yang berfungsi sebagai matrix. Morfologi membran mixed matrix yang dihasilkan berupa pori-pori yang berbentuk jari dan masuk dalam kategori membran mikrofiltrasi. Kinerja membran diuji kekuatan mekaniknya, nilai fluks, dan sifat antibakteri menggunakan *E-coli*. Penambahan ekstrak biji kelor mampu menghambat pertumbuhan bakteri sebesar 39,7%. Di sisi lain, permeabilitas membran turun dari 29,479 menjadi 19,007 mL/cm².menit.bar yang berpotensi meningkatkan tingkat rejeksi membran mikrofiltrasi yang dihasilkan.

Kata kunci: biofouling, membran mixed matrix, mikrofiltrasi, *Moringa oleifera*

Abstract

Membranes were used in many aqueous applications, including in food processing, e.g. clarification of fruit juices. Typical drawbacks of membrane processes are membrane fouling which promotes deterioration of process products. During application of membranes for fruit juice clarification, biofouling occurred as the process deals with food substances. This research is aiming at development mixed matrix membrane impregnated with natural antibiofoulant. In this work, natural antibiotics *Moringa oleifera* nuts were extracted using microwave assisted extraction and used to improve the antibiofouling properties of membranes due to its phenolic contents of 123.61 mg/g extract. The extracts were then impregnated into cellulose acetate polymer to form mixed matrix membranes with higher and safe (foodgrade) antibiofouling properties. The mixed matrix membrane formed in fingerlike macropores with the poresize is in microfiltration membranes range. The performances of anti-biofouling mixed matrix membranes were investigated by measuring its fluxes, mechanical strength, and bacterial adhesion using *E-coli* into the membrane surface. By using this natural active substance, the membranes survived from bacteria adhesion by lowering the ratio up to 39.7%. On the other hand, the membrane permeability decreased from 29.479 to 19.007 mL/cm².min.bar which potentially increase membrane rejection rate.

Keywords: biofouling, mixed matrix membranes, microfiltration, *Moringa oleifera*

1. Pendahuluan

Jus buah dalam kemasan merupakan produk olahan hasil pertanian yang banyak disukai

oleh masyarakat. Permintaan pasar yang cukup tinggi mendorong perkembangan industri pengolahan jus buah dalam skala kecil dan besar. Jus buah yang berkualitas

adalah yang tidak mengandung komponen yang mempengaruhi rasa, tidak berbuih, tidak berjamur, jernih dan tidak mengandung padatan terlarut yang tidak berguna.

Teknologi membran adalah teknologi pemisahan fisik yang bisa diterapkan dalam banyak bidang seperti bidang pangan atau energi (Wibisono dkk., 2014a). Teknologi membran dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas jus buah. Membran ultrafiltrasi dapat menghilangkan buih, mikroorganisme dan jamur yang sering ditemukan pada produk jus buah (Djajasukmana, 2011; Somogyi dkk., 1996). Teknologi membran juga digunakan untuk pemurnian jus jeruk dan lemon (Capanneli dkk., 1992), jus nanas (De Barros dkk., 2003), jus kiwi (Mondal dkk., 2011), pengolahan nira aren (Gafar dan Heryani, 2012). Penggunaan teknologi membran dalam proses penyiapan bahan konsumsi seperti air minum atau produk pangan memberikan banyak keunggulan karena sesuai dengan bahan pangan (*food grade*) tidak beracun, halal, rendah energi dan ramah lingkungan (Wibisono dkk., 2018).

Hanya saja, penggunaan membran untuk klarifikasi jus buah ini juga dipengaruhi oleh fouling (Wibisono dkk., 2016). Fouling yang menutupi permukaan membran ini akan menurunkan kinerja membran seperti menurunkan fluks, meningkatkan tekanan yang dibutuhkan untuk gaya pendorong (*driving force*) dan menurunkan rejeksi (Devianto dkk., 2018). Biofouling adalah termasuk jenis fouling yang mempengaruhi proses membran dan sering terjadi pada teknologi membran yang diterapkan pada produk pangan. Biofouling terjadi karena adanya material biologis yang tumbuh dan menempel pada pori atau permukaan membran (Wibisono, 2014b).

Pencegahan biofouling dapat dilakukan antara lain dengan melapisi membran dengan material yang mencegah penempelan, atau melapisi dengan material *antimicrobial agent* yang dapat membunuh mikroba (Wibisono dkk., 2015). Selain dibuat sebagai pelapis (*coating*), zat antibakteri juga bisa dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada membran dengan tipe *mixed matrix*. Membran *mixed matrix* menggunakan polimer sebagai matriks, dan bahan pengisi dengan fungsional tertentu, seperti yang memiliki sifat *biocidal* atau antibiofouling (Wibisono, 2017).

Pada penelitian ini, biji pohon kelor (*Moringa oleifera*) diekstrak kandungan fenolnya dan

dipakai sebagai bahan pengisi pada matriks selulosa asetat. *Moringa oleifera* telah dikenal digunakan untuk koagulan untuk penjernihan air dan mengurangi kekeruhan sejak jaman Mesir kuno di daerah Afrika dan negara-negara Asia Selatan (Damayanti dkk., 2011). *Moringa oleifera* juga digunakan sebagai adsorben pada proses pemurnian air dan mampu menghilangkan kandungan logam berat Cu, Pb, Cd, Zn dan Cr masing-masing sebesar 90, 80, 60, 50, dan 50% (Nand dkk., 2012). *Moringa oleifera* dapat digunakan sebagai koagulan alami untuk proses filtrasi dan dapat menghilangkan cyanobacterial dan mycosistin (Camacho dkk., 2015). *Moringa oleifera* juga dilaporkan mempunyai sifat antibakteri terhadap bakteri gram positif dan negatif (Vieira dkk., 2010). Oleh karena sifatnya sebagai antibakteri dan fungsinya sebagai koagulan, *Moringa oleifera* dapat digunakan sebagai material untuk mencegah adanya kontaminan biologis yang dapat berkembang biak dan mengganggu proses membran.

Membran selulosa asetat merupakan membran hidrofilik, mempunyai laju penyerapan tinggi, ketahanan listrik yang baik, dan daya tahan panas dan kimia terbatas. Kekurangan dari membran selulosa asetat adalah tingkat sensitivitas terhadap pH. Disamping itu karena berbasis selulosa, membran ini juga mudah rusak oleh mikroba yang ada dalam proses membran tersebut (Bhongsuwan dkk., 2008). Penambahan pasta ekstrak biji kelor bertujuan sebagai antibakteri karena mengandung senyawa fenol yang mampu merusak sel membran bakteri sehingga mencegah terjadinya fouling pada membran (Wajdi, 2017).

Penelitian ini melakukan sintesis membran *mixed matrix* berbasis selulosa asetat dengan bahan pengisi berupa ekstrak *Moringa oleifera* dengan berbagai tingkat konsentrasi. Sifat mekanik seperti kuat tarik dan ketebalan, fluks dan permeabilitas, morfologi serta sifat anti bakteri membran diuji dan dianalisis.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Polimer yang dipakai sebagai matriks dalam penelitian ini adalah selulosa asetat (CA) dari Sigma-Aldrich, USA, yang dilarutkan dalam Dimetilformamida (DMF) dari Merck untuk membuat larutan cetak. Biji kelor (*Moringa oleifera*) diperoleh dari Jombang, Jawa Timur yang dikeringkan dengan suhu 60°C selama 24 jam, dihancurkan dan diayak sehingga

mendapatkan bubuk dengan ukuran 200 mesh. Etanol 96% digunakan untuk ekstraksi bubuk Moringa hingga didapatkan pasta Moringa. Pasta ini kemudian dicampurkan dengan larutan cetak sebagai bahan pengisi (*filler*) untuk membuat membran mixed matrix. Reagen Folin Ciocalteu 10% dan Na_2CO_3 7.5% digunakan untuk menguji kandungan pasta Moringa, dan kristal violet, iodine dan safranin digunakan untuk uji antibakteri menggunakan bakteri *Escherichia coli*. Alat-alat yang digunakan antara lain gelas beaker, gelas ukur, tabung reaksi, pipet volume, ayakan 200 mesh, *magnetic stirrer*, termometer, oven, spatula kaca, timbangan, blender, kertas saring, microwave, *rotary vacuum evaporator*, autoclave, inkubator, pisau *casting*, plat kaca, nampan, mikroskop, FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) Spectrophotometer (Shimadzu Tipe 8400S), dan *Scanning Electron Microscopy* (HITACHI TM 9000 dan JEOL JSM-6360).

2.2. Ekstraksi Biji Moringa

Serbuk biji kelor di ekstrak menggunakan pelarut etanol 96% dengan perbandingan 1:5 (b/v) dan dilakukan ekstraksi dengan menggunakan microwave (*microwave assisted extraction/MAE*) selama 2 menit sebagai pretreatment kemudian dimaserasi selama 2 kali 24 jam sambil sesekali diaduk. Fungsi dari pengadukan ini agar pelarut etanol masuk merata. Setelah perendaman selesai bahan disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh filtrat 1, residu kemudian dilakukan maserasi kembali menggunakan pelarut etanol 96% dengan perbandingan 1:2,5% (b/v) selama 24 jam. Setelah proses perendaman selesai, dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring sehingga diperoleh filtrat 2. Filtrat 1 dan 2 kemudian dicampurkan dan dipisahkan dengan menggunakan rotary evaporator dengan suhu 50°C , kecepatan putaran 65 rpm selama kurang lebih 1 jam sehingga di dapat ekstrak kental Moringa.

2.3. Pengukuran Kandungan Fenol Total Ekstrak Moringa

Kandungan total fenol pada penelitian ini diukur dengan menggunakan metode Folin-Ciocalteu dan asam galat. Perhitungan total fenol diukur dengan tingkat absorbansi dari sampel yang telah direaksikan dengan reagen kimia menggunakan reagen kimia berupa folin dan Na_2CO_3 . Absorbansi diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Visible pada panjang gelombang 765 nm. Ekstrak kental diambil sebanyak 5 gram

diencerkan dan menambahkan aquades, kemudian memberi reagen larutan folin 10%, Na_2CO_3 20% setelah itu sampel diujikan menggunakan spektrofotometer dimana reaksi Folin-ciocalteu akan menyebabkan perubahan warna sampel menjadi biru. Pengujian gugus fungsi menggunakan FTIR juga dilakukan untuk mengetahui adanya gugus fungsi kimia pada sampel.

2.4. Sintesis Membran Mixed Matrix

Bubuk selulosa asetat sebanyak 5 gram dilarutkan dengan menggunakan dimetil formamida 21.7 mL sebagai pelarut (Saranya dkk., 2013). Setelah dihasilkan larutan selulosa asetat, kemudian ditambahkan dengan pasta ekstrak biji kelor dan diaduk sampai larutan homogen. Penambahan pasta ekstrak biji kelor masing masing dengan variasi massa 1 gram, 2 gram, dan 3 gram ke dalam polimer (Lihat Tabel 1). Larutan cetak kemudian didiamkan selama 24 jam untuk menghilangkan gelembung udara yang muncul pada proses pengadukan.

Tabel 1. Variasi konsentrasi pada membran mixed matrix berbasis Moringa

Tipe	CA (g)	Mo (g)	DML (mL)
CA murni	5	0	21.7
CA Mo1g	5	1	21.7
CA Mo2g	5	2	21.7
CA Mo3g	5	3	21.7

Pada proses pencetakan membran, dilakukan pembersihan cetakan kaca dengan menggunakan aseton terlebih dahulu, kemudian larutan cetak dituangkan ke media cetakan, diratakan dan direndam dalam aquades pada suhu kamar untuk membentuk membran dengan metode inversi fasa. Perendaman polimer dalam aquades membuat pelarut pada polimer berdifusi sehingga konsentrasi polimer meningkat dan membentuk pori-pori antar molekul menjadi lebih kecil dan mendekat. Lapisan pori yang lebih kecil ini disebut dengan lapisan selektif yang berfungsi sebagai pemisah. Selama kurang lebih 10 menit perendaman lapisan tipis yang terbentuk dapat mudah dilepas dari cetakan. Setelah terlepas sempurna dari cetakan, lapisan tipis dikeringkan menggunakan gas nitrogen sampai kering.

2.5. Pengukuran Ketebalan Membran

Pengukuran ketebalan membran dilakukan menggunakan mikrometer sekrup dengan ketelitian 0.01 mm. Pengukuran dilakukan pada lima titik yaitu tepi atas, bawah, kanan, kiri, dan bagian tengah kemudian hasilnya di rata-rata.

2.6. Pengujian Kuat Tarik Membran

Pengujian kuat tarik membran digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan dari membran untuk menahan gaya yang diberikan. Semakin besar nilai kuat tarik membran, menandakan bahwa membran tersebut memiliki kecenderungan tidak mudah patah. Pengujian kuat tarik dilakukan menggunakan *tensile strength* (Himada N200). Pengukuran kuat tarik ini sebagai salah satu pengujian kekuatan mekanik membran sehingga tahan dioperasikan pada tekanan yang tinggi.

2.7. Pengujian Fluks Membran

Membran selulosa asetat yang telah dilakukan penambahan variasi konsentrasi ekstrak biji kelor dilakukan pengujian fluks menggunakan air bersih pada tekanan 0.7 bar. Pengukuran fluks dilakukan setiap menit selama 10 menit. Pengujian kinerja membran dengan uji fluks untuk memperkirakan ukuran pori dan mengetahui tingkat permeabilitas sebuah membran, serta menentukan membran pada kategori membran tertentu.

2.8. Pengujian Antibakteri

Aktivitas antibakteri pada membran selulosa asetat dengan ekstrak biji kelor dilakukan dengan melihat penempelan bakteri *Escherichia coli* pada membran. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif kemampuan ekstrak biji kelor dalam menghambat penempelan bakteri pada membran yang dapat mengakibatkan biofouling.

Bakteri E-coli yang digunakan sebelumnya dikembang biakkan pada media agar NA sebanyak 0.4 gram dan dicampur 20 mL aquades. Kemudian dilakukan pemanasan dan sterilisasi dengan menggunakan autoclave dengan suhu 121°C, tekanan 2 atm selama 15 menit dengan menggunakan tabung reaksi yang digunakan untuk wadah kultivasi bakteri. Sebanyak 5 mL NA yang telah di sterilisasi, dituangkan pada tabung reaksi dan di miringkan lalu diberi bakteri E-coli. Lalu dengan menggunakan kawat, digoreskan secara zig-zag dan diinkubasi pada suhu 38°C selama 24 jam.

Untuk menguji apakah kultur tersebut adalah benar-benar E-coli, maka kultur diwarnai. Tahapan pewarnaan gram pada bakteri adalah membersihkan seluruh objek kaca dan penutup kaca dengan menggunakan alkohol. Di bawah objek kaca, digambar

lingkaran dengan diameter 1 cm menggunakan spidol. Area ini digunakan untuk pewarnaan bakteri. Kaca objek dibalik sehingga gambar lingkaran berada di bawah. Bakteri diambil dengan ose dan diletakkan pada permukaan kaca object dan diratakan pada area lingkaran yg telah digambar. Dikeringkan menggunakan angin hingga membentuk noda. Fiksasi dengan melewatkan objek kaca ke nyala api beberapa kali.

Kemudian ditambahkan 2-3 tetes kristal ultra violet, dan didiamkan selama 1 menit. Dicuci dengan aquades, lalu ditiriskan. Larutan yodium diteteskan dan ditunggu selama 1 menit. Sisa yodium dicuci menggunakan aquades dan dikeringkan. Kaca dicuci menggunakan etanol 95% sampai objek tidak berwarna. Lalu dicuci menggunakan aquades lagi dan keringkan. Beberapa tetes safranin ditambahkan dan diamkan selama 2 menit. Lalu dicuci dengan cepat dengan aquades, dan dikeringkan. Bakteri E-coli adalah bakteri gram negatif, dan hasilnya menunjukkan bahwa hasil pewarnaan berwarna merah muda.

Sampel membran dengan ukuran di 0.5 cm x 0.5 cm diletakkan di permukaan bakteri berwarna. Permukaan ditutupi dengan penutup kaca. Setelah semua sampel diinkubasi selama 24 jam dengan suhu 37°C. Kemudian membran sampel dianalisis menggunakan SEM HITACHI TM 9000 dan pengolahan gambar menggunakan Image J. Hasil dari pengolahan gambar ini akan dihasilkan persentasi luasan area membran yang ditemplei oleh bakteri.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Total Fenol Ekstrak Moringa

Hasil analisis senyawa kimia pada biji *Moringa oleifera* dilakukan menggunakan uji Total Fenol dan FTIR. Total Fenol pada ekstrak biji *Moringa oleifera* dengan nilai absorbansi dari ekstrak biji kelor yaitu 0.908A dan dihasilkan nilai total fenol terhadap sampel biji kelor sebesar 123.61 mg/g ekstrak. Untuk hasil dari spektra FTIR dirangkum pada Tabel 2.

Diketahui bahwa senyawa antioksidan masuk ke dalam golongan fenol atau senyawa yang memiliki gugus O-H dan beberapa cincin aromatik. Dari analisa FTIR menunjukkan adanya gugus hidroksil pada sampel ektstrak biji kelor. Menurut Olii dkk. (2014) pada senyawa fenol, terdapat gugus benzen yang mengikat satu gugus O-H dengan intensitas

melebar dan tajam. Absorbansi gelombang 3445,39 cm^{-1} didukung oleh serapan pada daerah bilangan gelombang 1377,84 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya gugus O-H. Kemudian diperkuat dengan adanya serapan pada 1283,34 cm^{-1} yang merupakan uluran gugus aromatik. Sehingga ekstrak biji kelor dipastikan memiliki kandungan fenolik yang dapat menjadi antibakteri pada pembuatan membran selulosa asetat ini.

Tabel 2. Bilangan gelombang dan gugus fungsi ekstrak Moringa

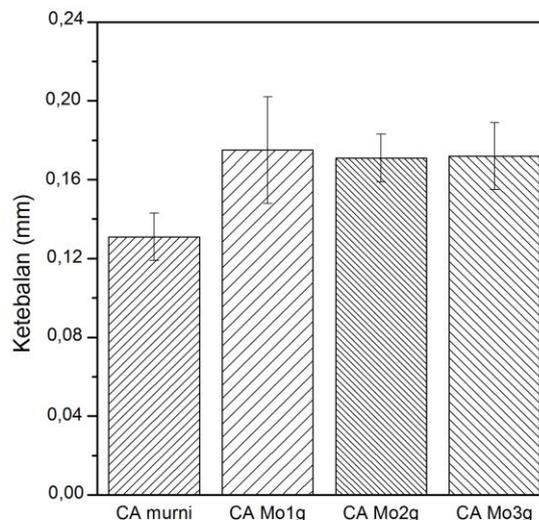
Bilangan Gelombang Representatif (cm^{-1})	Gerakan Molekul	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
3550 - 3200	Kuat	3445,39	O-H
3000 - 2800	Kuat	2924,65	N-H
2830-2695	Sedang	2677,77	C-H
1750-1735	Kuat	1746,22	C=O
1600 - 1475	Sedang	1464,63	C-H C=C
1420-1330	Sedang	1377,84	O-H
1310-1250	Kuat	1283,34	C-O
730-665	Kuat	722,09	C=C

Fenol merupakan suatu senyawa antioksidan alami yang ada dalam berbagai jenis tumbuhan seperti sayuran, buah buahan, kacang-kacangan, minyak tumbuhan, dan minuman. Jenis senyawa fenol yaitu asam galat, flavonoid, lignin, tanin, asam ferulat, asam kumarat merupakan antioksidan kuat dibanding vitamin C dan vitamin E yang dikenal dengan antioksidan potensial. Aktivitas antioksidan ditunjukkan melalui mekanisme pereduksi, penangkapan radikal bebas, serta pendonor elektron. Salah satu gugus *acetogenin* dari fenol merupakan senyawa toksik, sehingga fenol digunakan sebagai antiseptik dan antibakteria. Mekanisme kerja dari senyawa ini dengan menghancurkan sel dan pengendapan protein sel dari mikroorganisme sehingga terjadi koagulan dan kegagalan fungsi mikroorganisme tersebut.

3.2. Ketebalan Membran

Hasil pengujian ketebalan membran dengan penambahan ekstrak Moringa disajikan pada Gambar 1. Pada membran CA murni memiliki nilai rerata ketebalan 0,131 mm dan pada membran CA Mo1g didapatkan nilai rerata ketebalan sebesar 0,175 mm; membran CA Mo2g sebesar 0,171 mm, dan membran CA Mo3g sebesar 0,172 mm. Penambahan filler pada membran CA murni akan meningkatkan ketebalan membran. Secara keseluruhan pada membran dengan penambahan ekstrak

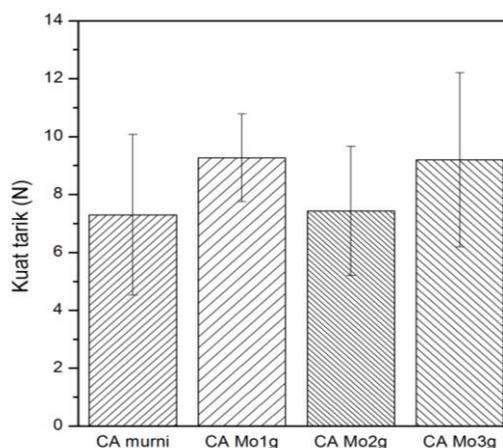
memiliki nilai rata-rata ketebalan yang cukup seragam.



Gambar 1. Ketebalan membran berbasis CA

3.3. Kuat Tarik Membran

Nilai kuat tarik membran pada penelitian ini berkisar antara 7,3 N hingga 9,27 N. Grafik yang menunjukkan nilai kuat tarik pada setiap perlakuan disajikan pada Gambar 2. Dapat dilihat bahwa nilai rata-rata kuat tarik membran tidak berkorelasi dengan konsentrasi ekstrak Moringa. Jika melihat nilai simpangan yang dihasilkan pada pengujian kuat tarik, secara umum nilai kuat tarik berada pada nilai yang berhimpitan, yang ditunjukkan pada garis standar deviasi yang dihasilkan. Maka dapat disimpulkan bahwa, penambahan ekstrak Moringa tidak secara signifikan meningkatkan nilai kuat tarik membran. Pada membran CA Mo1g dan CA Mo3g memiliki nilai yang hampir sama, sedangkan CA Mo2g sedikit lebih rendah, namun nilainya masih setara.

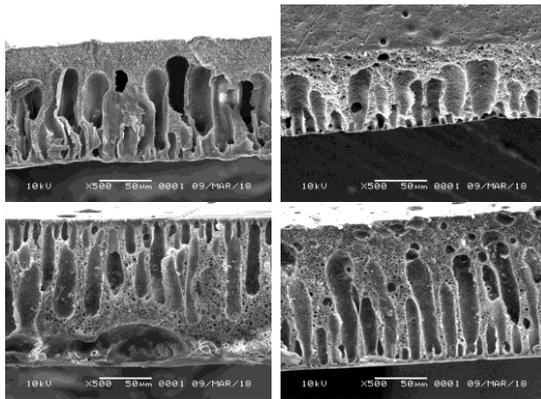


Gambar 2. Kuat tarik membran

Jika dibandingkan dengan gambar penampang melintang dari SEM pada Gambar 3, secara umum morfologi membran hampir sama. Hanya penambahan ekstrak menyebabkan adanya pengisian pada pori-pori membran sehingga diantara matriks polimer terdapat padatan yang akan mempengaruhi kekuatan tarik pada membran mixed matrix yang dihasilkan (Adnan dkk., 2015).

3.4. Morfologi Membran

Pengujian morfologi membran dilakukan dengan pemindaian penampang melintang *cross section* membran menggunakan SEM JEOL JSM-6360. Terlihat pada Gambar 3 bahwa membran berbasis CA yang terbentuk merupakan membran asimetrik. Pada membran asimetrik, bagian atas memiliki pori yang lebih kecil daripada bagian bawah. Pori-pori membran membentuk struktur macrovoid dengan bentuk jari (*finger-like*). Pada membran CA murni, lapisan filtrasi dan lapisan pendukung memiliki pori-pori yang lebih rapat dan homogen, dibandingkan dengan membran CA yang ditambah ekstrak Moringa. Pada membran CA Mo1g, CA Mo2g, dan CA Mo3g, terlihat adanya padatan yang terperangkap dalam matriks polimer, sehingga terbentuk membran mixed matrix.



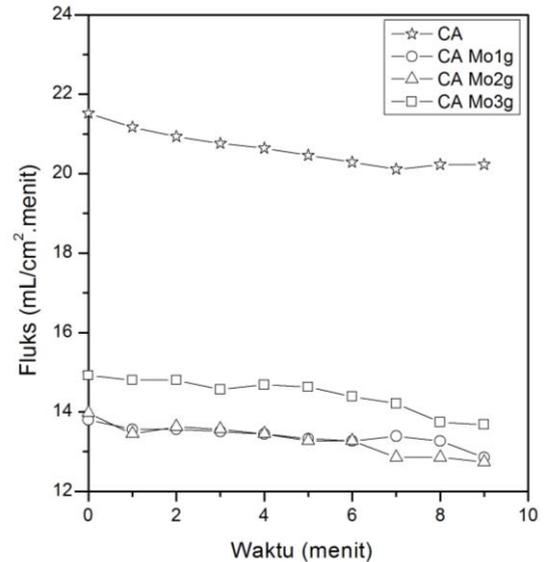
Gambar 3. Penampang melintang membran dengan SEM. Sesuai arah jarum jam mulai kiri atas: CA murni, CA Mo1g, CA Mo2g, CA Mo3g

Pori-pori pada membran mixed matrix ini lebih kecil, karena ditutupi oleh padatan ekstrak Moringa. Terdapat pori-pori yang besar yang menyebar di beberapa tempat, kemungkinan disebabkan karena adanya udara yang terperangkap pada pencampuran larutan cetak, sehingga pada proses inversi fasa diisi oleh air sebagai non pelarut dan meninggalkan lubang pori macrovoid. Macrovoid ini akan berpotensi untuk meningkatkan tranport molekul pada proses

pemisahan, namun disisi lain menurunkan tingkat rejeksi pada larutan yang memiliki zat terlarut berukuran mikro atau koloidal.

3.5. Uji Fluks Membran

Permeabilitas membran diuji dengan mengukur fluks air bersih dengan menggunakan tekanan 0,7 bar. Pengukuran fluks dilakukan setiap 1 menit selama 10 menit. Hasil pengujian fluks air bersih disajikan pada Gambar 4.



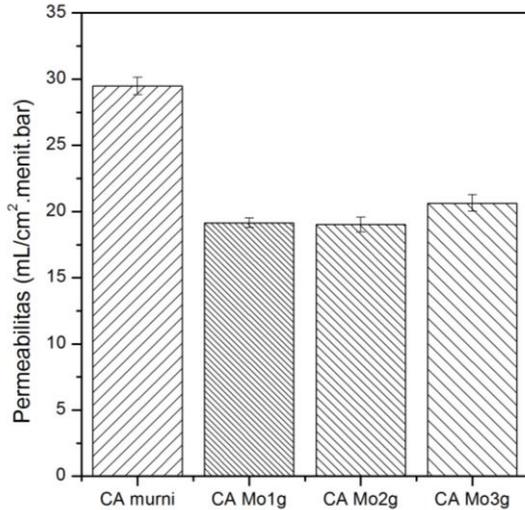
Gambar 4. Fluks air bersih melalui membran pada tekanan transmемbran 0,7 bar

Dari pengukuran fluks air bersih nampak bahwa membran CA murni menghasilkan fluks paling besar sebesar sekitar 21,526 mL/cm².menit, sedangkan membran CA yang ditambah ekstrak Moringa menghasilkan fluks air bersih yang lebih rendah yaitu berkisar antara 13,305 hingga 14,443 mL/cm².menit.

Sedangkan nilai permeabilitas membran disajikan pada Gambar 5. Nampak bahwa permeabilitas membran CA murni berkisar pada nilai 29,479 mL/cm².menit.bar, sedangkan membran CA Mo1g, membran CA Mo2g, membran CA Mo3g berturut-turut memiliki permeabilitas sebesar 19,142, 19,007, dan 20,633 mL/cm².menit.bar. Artinya penambahan ekstrak Moringa menurunkan permeabilitas membran.

Jika dihubungkan dengan morfologi membran yang disajikan pada Gambar 4, nilai fluks dan permeabilitas membran mixed matrix CA-Mo lebih rendah daripada membran CA murni karena penyempitan pori-pori membran yang terisi ekstrak Moringa. Penyempitan pori-pori ini dapat

menurunkan nilai permeabilitas, namun juga berpotensi meningkatkan nilai rejeksi, khususnya untuk padatan terlarut yang ukurannya mendekati ukuran pori-pori membran.



Gambar 5. Rerata permeabilitas membran

Nilai permeabilitas membran ini termasuk dalam membran mikrofiltrasi dengan fluks tinggi (Ferreira dkk., 2015), disebabkan karena membran berbasis selulosa asetat termasuk dalam membran yang memiliki nilai hidrofilitas tinggi sehingga mampu melewati molekul air dengan mudah (Karim dkk., 2016).

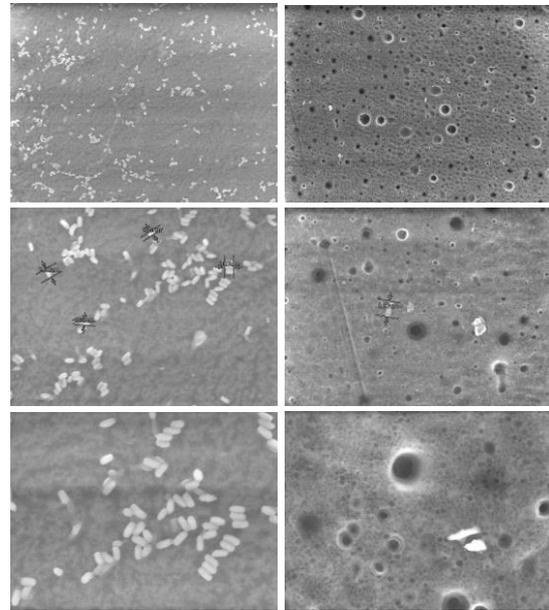
3.6. Uji Antibakteri

Pengujian aktivitas antibakteri pada membran CA dan membran mixed matrix CA-Mo dilakukan dengan menempatkan membran pada gelas objek yang telah dibiakkan bakteri *Escherichia coli*. Setelah 24 jam, sampe membran diobservasi dengan SEM. Hasil SEM disajikan pada Gambar 6.

Pada Gambar 6 disajikan sampel membran CA murni dan CA Mo3g untuk membandingkan pengaruh penambahan ekstrak Moringa pada penempelan bakteri E-coli. Sampel membran diobservasi dengan SEM pada 3 tingkat perbesaran yaitu 1000x, 3000x dan 5000x. Secara umum terlihat bahwa pada permukaan membran CA murni, bakteri menempel secara merata pada permukaan membran. Sedangkan pada membran CA Mo3g, secara signifikan nampak bahwa jumlah bakteri yang menempel menurun.

Pada perbesaran 5000x nampak bahwa bakteri E-coli terdeteksi, berbentuk batang yang memiliki ukuran sel, dengan panjang

berkisar 2 µm dan lebar 1,1 µm – 1,5 µm. Bakteri E-coli ini biasanya terdapat secara sel tunggal atau berpasangan dan dalam rantai pendek. Berdasarkan hasil SEM, dapat dipastikan bahwa bakteri yang menempel pada permukaan membran sampel adalah bakteri E-coli.

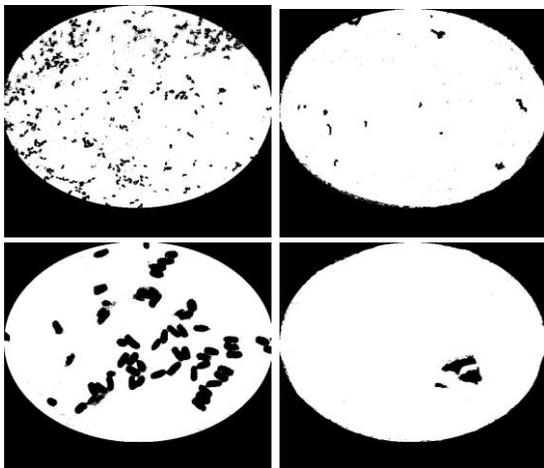


Gambar 6. Gambar SEM dari penempelan bakteri di permukaan membran. Kiri: CA murni; kanan: CA Mo3g. Atas: perbesaran 1000x; tengah: perbesaran 3000x; bawah: perbesaran 5000x

Hasil analisis pada gambar SEM juga menunjukkan bahwa bakteri E-coli pada membran CA murni berbentuk batang yang masih utuh selnya. Sedangkan pada membran CA Mo3g, selain jumlah bakteri lebih sedikit, sel bakteri yang masih menempel juga menunjukkan sel yang tidak utuh, artinya kemungkinan besar sel bakteri telah mengalami lisis. Menurut Anwar (2007) biji kelor memiliki antibakteri yang mampu bereaksi terhadap sel bakteri Gram positif maupun Gram negatif. Cara kerjanya dengan merusak membran sel pada mikroorganisme atau dengan menghambat enzim penting seperti peptida. Efek antimikroba dalam biji kelor ini berhubungan dengan senyawa 4 (α-L-rhamnosyloxy) benzyl isothiocyanate yang terkandung didalamnya.

Untuk mengetahui seberapa besar perbandingan secara kuantitatif, antara membran CA murni dan membran CA Mo3g, maka dilakukan pengolahan gambar SEM dengan software ImageJ. Teknik analisis partikel atau padatan menggunakan software ImageJ berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kurniawan dkk. (2011),

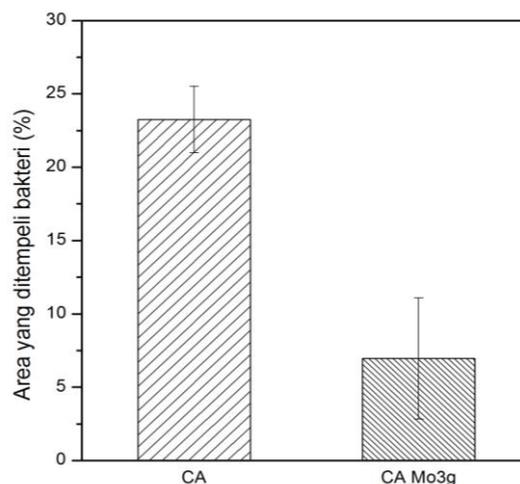
menegaskan bahwa analisis menggunakan software Image cukup akurat untuk membandingkan persentase luasan area penempelan bakteri pada permukaan membran. Analisis dilakukan pada gambar SEM dengan perbesaran 1000x dan 5000x. Hasilnya disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Analisa penempelan bakteri pada membran dengan menggunakan software ImageJ. Sesuai arah jarum jam mulai kiri atas: CA murni perbesaran 1000x; CA Mo3g perbesaran 1000x; CA murni perbesaran 5000x; CA Mo3g perbesaran 5000x

Dari hasil gambar analisis menggunakan ImageJ, nampak bahwa membran CA Mo3g secara signifikan memiliki luasan penempelan bakteri E-coli yang lebih rendah dari membran CA murni. Dengan menghitung jumlah pixel yang berwarna hitam (menunjukkan bakteri E-coli yang menempel) dan jumlah pixel berwarna putih (luasan membran yang tidak ditempel E-coli), bisa dihitung persentase luasan membran yang ditempel bakteri E-coli.

Data perhitungan yang didapatkan dari analisis ImageJ, menyatakan bahwa membran CA murni memiliki nilai persentase area penempelan bakteri E-coli sebanyak 24,87% untuk perbesaran 1000x dan 21,67% untuk perbesaran 5000x. Sedangkan pada membran CA Mo3g, nilai persentase area penempelan bakteri E-coli sebanyak 9,87% untuk perbesaran 1000x dan 4,03% untuk perbesaran 5000x. Rerata persentase area penempelan bakteri E-coli pada membran CA murni dan membran CA Mo3g disajikan pada Gambar 8. Terdapat penurunan persentase area penempelan membran sebesar 39,7% karena penambahan filler Moringa pada membran CA (atau pada membran CA Mo3g).



Gambar 8. Perbandingan luasan permukaan membran yang ditempel oleh bakteri pada membran CA murni dan CA Mo3g

4. Kesimpulan

Kandungan fenol pada ekstrak biji kelor yaitu 123,61 mg/g ekstrak mampu menjadi senyawa antibakteri yang dapat mencegah terjadinya biofouling pada membran selulosa asetat. Penambahan ekstrak biji kelor pada membran berbasis selulosa asetat, mempengaruhi permeabilitas membran, yaitu nilai permeabilitas membran CA murni berkisar pada nilai 1765,23 L/m².jam.bar, sedangkan membran CA Mo1g, membran CA Mo2g, membran CA Mo3g berturut-turut memiliki permeabilitas sebesar 1146,23 L/m².jam.bar, 1138,15 L/m².jam.bar, dan 1235,52 L/m².jam.bar. Penempelan bakteri E-coli juga menurun tajam sebesar 39,87%. Membran mixed matrix CA-Mo berpotensi untuk dipergunakan pada proses membran yang rentan dengan adanya biofouling, termasuk untuk klarifikasi jus buah. Pengujian tingkat rejeksi, permeabilitas pada jus buah, dan efek antibiofouling akan dilakukan pada tahapan penelitian berikutnya.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi.

Daftar Pustaka

Adnan, A., Sidra, W., Khan, S. M., Gul, S. E., Shafiq, M., Farooq, M., Sanaullah, K.,

- Jamil, T. (2015) Effect of silica on the properties of cellulose acetate/polyethylene glycol membranes for reverse osmosis, *Desalination*, 355, 1-10.
- Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., and Gilani, A.H. (2007) Moringa oleifera : a food plant with multiple medicinal uses, *Phytotherapy Research*, 21 (1), 17-25.
- Bhongsuwan, D., Bhongsuwan, T., NaSuwan, J. (2008) Preparation of cellulose acetate membranes for ultra- nano-filtrations, *Kasetsart Journal: Natural Science*, 42, 311 -317.
- Camacho, F.P, Bongiovani, M.C., Silva, M.O., Coldebella, P.F., Amorim, M.T.S.P., Bergamasco, R. (2015) Coagulation/ Flocculation / Flotation / Nanofiltration processes using Moringa oleifera as coagulant of eutrophized river, *Chemical Engineering Transactions*, 43, 1123-1128.
- Capannelli, G., Bottino A., Munari, S., Ballarino, G., Mirzaian, H., Rispoli, G., Lister, G., and Maschio, G. (1992), Ultrafiltration of fresh orange and lemon juices, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie (LWT)*, 25 (6), 518-522.
- Damayanti, A., Ujang, Z., Salim, M.R., (2011) The influenced of PAC, zeolite, and Moringa oleifera as biofouling reducer (BFR) on hybrid membrane bioreactor of palm oil mill effluent (POME), *Bioresource Technology*, 102, 4341-4346.
- De Barros, S.T.D., Andrade, C.M.G., Mendes, E.S., Peres, L., (2003), Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration, *Journal Membrane Science* 215, 213-224.
- Devianto, L.A., Aprilia, D.N., Indriani D.W., Sukarni, S., Sumarlan, S.H., Wibisono, Y. (2018) Marine microalge *Nannochloropsis oculata* biomass harvesting using ultrafiltration in cross-flow mode, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 131 (1), 012042.
- Djajasukmana, R.B. (2011) Teknik perakitan unit filtrasi membran dan pengujian kinerjanya terhadap jus jeruk dan produk olahannya lainnya, *Buletin Teknik Pertanian*, 16(1), 37-41.
- Ferreira, A.M, Roque, E.B., da Fonseca, F.V., Borges, C.P. (2015) High flux microfiltration membrane with silver nanoparticles for water disinfection, *Desalination and Water Treatment*, 56 (13), 3590-3598.
- Gafar, P.A., dan Heryani, S. (2012) Pengembangan proses pengolahan minuman nira aren dengan teknik ultrafiltrasi dan deodorisasi, *Jurnal Hasil Penelitian Industri*, 25 (1), 1-10.
- Karim, Z., Mathew, A.P., Kokol, V., Wei, J., Grahn, M. (2016) High-flux affinity membranes based on cellulose nanocomposites for removal of heavy metal ions from industrial effluents, *RSC Advances*, 6, 20644-20653.
- Kurniawan, C., Waluyo, T.B., Sebayang, P. (2011) Analisis Ukuran Partikel Menggunakan Free Software Image J. Seminar nasional Fisika Pusat Penelitian Fisika – LIPI ISSN 2088-4176
- Mondal, S., Cassano, A., Tasselli, F., Sirshendu, D. (2011) A generalized model for clarification of fruit juice during ultrafiltration under total recycle and batch mode, *Journal Membrane Science*, 366, 295-303.
- Nand, V., Maata, M., Koshy, K., Sotheeswaran, S. (2012) Water purification using Moringa oleifera and other locally available seeds in Fiji for heavy metal removal, *International Journal of Applied Science and Technology*, 2 (5), 125-129.
- Olii, H., Musa, W.J.A, Mardjan, P. (2014) *Isolasi dan identifikasi senyawa fenol dari ekstrak metanol biji pepaya (Carica papaya Linn)*, Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas MIPA Universitas Negeri Gorontalo
- Saranya, R., Arthanareeswaran, G., Ismail, A.F., Dionysios, D., Diby, P. (2015) Zero-valent iron impregnated cellulose acetate mixed matrix membranes for the treatment of textile industry effluent. *RSC Advances*, 5, 62486-62497.
- Somogyi, L.P, Barret, D.M, Hui, Y.H, (1996) *Processing Fruits: Science and Technology vol.2, Major Processed Products*, A Technomic Publishing Company Book, Lancaster.

- Vieira, G.H.F., Mourão, J.A., Ângelo, A.M., Costa, R.A, Vieira, R.H.S.F. (2010) Antibacterial effect (in vitro) of Moringa oleifera and Annona muricata against Gram positive and Gram negative bacteria, *Journal of the São Paulo Institute of Tropical Medicine*, 52(3), 129-132
- Wajdi, S.A., Kasmayati, S., Hastuti, S.P. (2017) Uji aktivitas antibakteri campuran ekstrak biji kelor (Moringa oleifera) dan daun kersen (Muntingia calabura) terhadap Pseudomonas aeruginosa dan Bacillus subtilis, *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 2, 10-15.
- Wibisono, Y., Nugroho, W.A., Chung, T.W. (2014a) Dry degumming of corn oil for biodiesel using a tubular ceramic membrane, *Procedia Chemistry*, 9, 210-219.
- Wibisono, Y. (2014b) Two-phase flow for fouling control in membranes, *PhD Thesis*, University of Twente, The Netherlands.
- Wibisono, Y., Yandi, W., Golabi, M., Nugraha, R., Cornelissen, E.R., Kemperman, A.J.B., Ederth, T., Nijmeijer, K. (2015) Hydrogel-coated feed spacers in two-phase flow cleaning in spiral wound membrane elements: a novel platform for eco-friendly biofouling mitigation, *Water Research*, 71, 171-186.
- Wibisono, Y., Ahmad, F., Cornelissen, E.R., Kemperman, A.J.B., Nijmeijer, D.C. (2016) Dominant factors controlling the efficiency of two-phase flow cleaning in spiral-wound membrane elements, *Desalination and Water Treatment*, 57 (38), 17625-17636.
- Wibisono, Y. (2017) *Biomaterial dan Bioproduk*, UB Press, Malang.
- Wibisono, Y., Sucipto, S., Perdani, C.G., Astuti, R., Dahlan, M. (2018) *Halal compliance on drinking water industries: a future perspective*, dalam: Muhammad Hashim N., Md Shariff N., Mahamood S., Fathullah Harun H., Shahrudin M., Bhari A. (eds.) *Proceeding of the 3rd International Halal Conference (INHAC2016)*, Springer, Singapore.