

PENYISIHAN *HUMIC ACID* DAN *EXTRACELLULAR POLYMERIC SUBSTANCES* DALAM AIR PERMUKAAN DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI OZON DAN TEKNOLOGI MEMBRAN ULTRAFILTRASI

Nur Illahiyah Munggaran^{*)} Titik Istirokhatun^{**)} Heru Susanto^{**)}
Program Studi S1 Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudharto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
Email : nurila136@gmail.com

Abstrak

Teknologi membran banyak digunakan dalam penyisihan *Natural Organic Matter (NOM)* yang berupa *extracellular polymeric substances (EPS)* dan *humic acid (HA)* dalam air permukaan untuk mengurangi terbentuknya hasil sampingan desinfeksi berupa trihalomethane yang bersifat karsinogenik. Fokus utama dalam penelitian ini yaitu penyisihan larutan model HA dan Sodium Alginat (SA) sebagai larutan model EPS dengan menggunakan membran Permanently hidrophilic polysulfone (PSH) 100 kDa, serta penentuan pengaruh ozon terhadap karakteristik umpan sebelum dilakukan filtrasi. Efektifitas kinerja membran dilakukan dengan pengamatan perilaku fluks dan rejeksi baik terhadap umpan yang sudah dikontakkan dengan ozon maupun tidak. Hasil penelitian menunjukkan ozon tidak memberikan efek yang signifikan terhadap perilaku fluks, baik saat awal filtrasi maupun akhir filtrasi. Sedangkan, secara umum rejeksi HA dan SA cenderung meningkat dengan adanya penambahan kontak ozon sebelum filtrasi. Nilai rejeksi HA dan SA mencapai 91% - 94%. Berdasarkan hal tersebut, efektifitas ozon dinilai lebih efektif dalam meningkatkan kinerja membran dalam menyisihkan kontaminan HA dan SA dibandingkan dengan permeabilitas yang dinyatakan dengan profil fluks pada variasi umpan.

Kata kunci: *Extracellular Polymeric Substances, Humic Acid, Ultrafiltrasi, Ozon, Fluks, Rejeksi.*

Abstract

[Combination of ozonation and ultrafiltration membrane technology for removal of humic acid and extracellular polymeric substances in surface water]. Membrane technology is widely used in the elimination of extracellular polymeric substances (EPS) and humic acid (HA) as a fraction of natural organic matter (NOM) in surface water to reduce the formation of disinfection by-products such as trihalomethanes some of which are known carcinogens. The main focus of this study centred on tests to determine the elimination of HA and Sodium Alginate (SA) as a model solution of EPS and determine the effect of ozone contact times on characteristics of feeds before ultrafiltration (UF) using Permanently Hydrophilic Polysulfone (PSH) 100 kDa. The effectiveness of the performance of the membrane carried by measuring the flux and the rejection of the feed that has been contacted with ozone or not. Results showed that, by adding ozone contact time before UF did not show a significant effect on the flux behavior, either in the beginning or the end of filtration. Another case with the level of rejection, the feed that has been contacted with ozone tends to increase about 81-91% for HA and 72-94% for SA. Based on this, the effectiveness of ozone considered more effective in improving the performance of the membrane in a setting aside contaminant HA and SA compared with the permeability which is indicated by flux profile to the variation of feed concentration.

Keywords: *Extracellular Polymeric Substances, Humic Acid, Ultrafiltration, Ozone, Flux, Rejection.*

I. Pendahuluan

Van Galuwe et al. (2011) menyatakan bahwa pada badan air terdapat *Natural Organic Matter* (NOM) yang berasal dari makromolekul ekstraseluler mikroorganisme dari fiksasi karbon tanaman atau ganggang, serta pembusukan tanaman atau hewan disekitar badan air. Pada konsentrasi tertentu, NOM yang terdiri dari fraksi terbesar humic substances berupa humic acid (HA) dan extracellular polymeric substances (EPS) akan mengakibatkan pengaruh negatif pada air permukaan yang dapat menyebabkan timbulnya kekeruhan dan warna, serta adanya peningkatan polutan organik lain maupun logam yang teradsorpsi oleh EPS. Selain itu, keberadaan NOM tersebut pada tahap pengolahan dapat mengakibatkan terbentuknya hasil sampingan yang bersifat karsinogenik yang berupa trihalomethanes (Boulestreau dan Miehe, 2010; Matilainen et al., 2010; Departemen Lingkungan dan Konservasi Newfoundland dan Labrador, 2011).

Penurunan kualitas air permukaan yang disebabkan oleh NOM menyebabkan dibutuhkan modifikasi teknologi pengolahan untuk mengurangi kontaminan dalam air yang akan dikonsumsi. Departemen Lingkungan dan Konservasi Newfoundland dan Labrador (2011) melaporkan beberapa teknologi yang sudah banyak digunakan sebagai alternatif penyisihan NOM antara lain, koagulasi, filtrasi dengan membran, proses oksidasi, adsorpsi dan proses *ion exchange*, serta bank filtrasi. Namun dari beberapa teknologi tersebut disebutkan bahwa proses filtrasi dengan membran dapat menyisihkan hampir sebagian besar NOM yang terbentuk didalam air. Membran merupakan teknologi yang menggunakan lapisan tipis yang terdiri dari dua fase yang selektif, yang pada prinsipnya mampu menyaring air terkontaminasi menjadi air bersih (Susanto 2011).

EPS dan HA dalam air permukaan merupakan NOM yang memiliki bobot molekul besar serta dapat disisihkan dengan menggunakan teknologi membran ultrafiltrasi (More et al., 2014). Namun, Boulestreau dan Miehe (2010) melaporkan bahwa kedua zat tersebut dapat menghambat kinerja membran dengan terbentuknya *fouling* atau deposisi padatan tersuspensi maupun terlarut pada

permukaan membran, mulut pori atau didalam pori membran. Pada beberapa studi sebelumnya, fenomena fouling yang terjadi akibat keberadaan HA dan EPS dapat diminimalisir dengan adanya pencucian membran secara berkala atau dilakukan sistem backwash pada saat filtrasi.

Lain halnya, dengan yang disampaikan oleh Boulestreau dan Miehe (2010) bahwa untuk mendapatkan hasil olahan yang lebih baik dibutuhkan kombinasi teknologi sebelum dilakukan pengolahan dengan membran. Koagulasi, ozonasi, atau kombinasi koagulasi dan ozonasi dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan pendahuluan sebelum menggunakan membran. Namun penggunaan kombinasi koagulasi dalam pengolahan membran masih memiliki kekurangan. Seperti yang dijelaskan oleh Xiao et al. (2010) koagulasi sangat bergantung pada dosis koagulan dan kondisi pH pada saat pengolahan. Tingginya dosis koagulan dapat mengakibatkan banyaknya lumpur yang terbentuk. Selain itu, dibutuhkan luas area instalasi yang lebih besar. Hal tersebut dapat mempengaruhi tingginya biaya yang harus dikeluarkan. Jika dibandingkan dengan menggunakan kombinasi ozon, luas area pengolahan dapat dikurangi serta dapat memperpanjang waktu penggunaan membran dengan minimalisasi terjadinya fouling, backwash atau pembersihan secara kimia secara berkala (Boulestreau dan Miehe, 2010).

Sebagian besar kombinasi ozon dan membran hanya dilakukan dalam pengolahan maupun penyisihan HA baik dalam air limbah atau air permukaan. Belum ada penelitian yang mengamati fenomena fouling maupun efektifitas penyisihan HA dan EPS dengan menggunakan kombinasi ozon dan teknologi membran ultrafiltrasi. Diharapkan dengan adanya kontak dengan ozon sebelum dilakukan filtrasi pada larutan tunggal HA dan EPS maupun campuran HA/EPS, perubahan karakteristik umpan dapat meningkatkan kinerja membran dengan nilai fluks dan rejeksi yang lebih baik dalam pengolahan air permukaan.

II. Material dan metode penelitian

a. Material

Komersial HA (Sigma Aldrich 53680) dan Sodium Alginat/SA (CV. Indrasari –

Semarang) sebagai larutan model EPS digunakan sebagai foulant dalam filtrasi air permukaan sintesis. Penelitian dilakukan dengan larutan sintesis bertujuan untuk mengetahui perilaku fluks dan rejeksi membran terhadap umpan HA maupun SA secara nyata, baik dengan umpan yang sudah dikontakkan dengan ozon maupun tidak.

Terdapat dua variasi konsentrasi yang digunakan, yaitu larutan tunggal HA dan SA dengan konsentrasi masing-masing 50 ppm, serta larutan campuran HA:SA dengan perbandingan massa 1:1 dan 3:1. Konsentrasi pada larutan campuran HA:SA sebesar (15:15)ppm dan (45:15)ppm yang dilarutkan dalam air suling. Dalam persiapan larutan HA dan SA dilarutkan selama satu jam dengan menggunakan magnetic stirrer. Pada larutan yang mengandung HA, baik larutan tunggal maupun campuran, harus diperhatikan bahwa HA bersifat rentan terhadap cahaya. Sehingga larutan harus dijaga dari pancaran sinar matahari langsung.

b. Metode

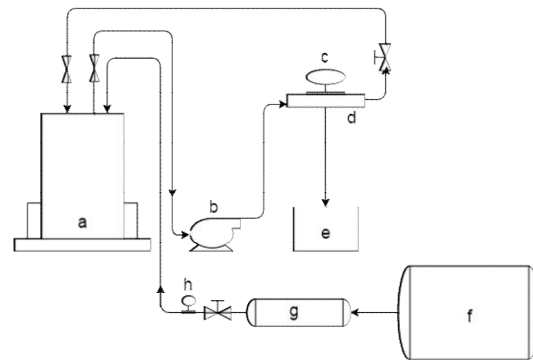
Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan skema pada Gambar 1. Secara umum, penelitian dilakukan dengan dua tahapan yang berbeda dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik membran dengan umpan yang dikontakkan dengan ozon maupun tidak. Ozon dihasilkan dari oksigen yang dialirkan pada lampu ultraviolet yang dikombinasikan dengan Electronic Ballasts for UV Lambs seri PW5-425-40 produksi X-Troy.

Pada tahapan dengan menggunakan kombinasi ozon sebelum dilakukan filtrasi, ozon digunakan sebagai pengolahan pendahuluan terhadap umpan sebelum di filtrasi dengan tujuan untuk menghasilkan karakteristik umpan yang lebih sederhana. Ozon dikontakkan selama 5 menit, 10 menit, dan 15 menit kedalam masing-masing variasi konsentrasi umpan dalam wadah tertutup rapat dengan kecepatan alir sebesar 1,0 L/menit.

Setelah larutan umpan dikontakkan dengan ozon, dilanjutkan dengan filtrasi dengan PSH (permanently hydrophilic polysulfone) yang di produksi oleh Microdyn-Nadir (Germany) tipe US100 dan pori sebesar 100 kDa. Filtrasi dilakukan dengan aliran cross flow selama 3 jam dengan penampungan permeat setiap 10 menit sekali. Tekanan operasi yang digunakan sebesar 1 bar. Hasil akhir filtrasi HA maupun

SA dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Genesis 10S UV-VIS (Thermo Scientific – USA). Analisis HA dilakukan pada panjang gelombang 254nm, sedangkan SA dengan menggunakan metode phenol-sulphuric pada panjang gelombang 488nm.

Sedangkan membran yang telah digunakan dianalisa Scanning Electron Microscope (SEM) dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) untuk mengetahui morfologi membran serta fouling yang terjadi pada permukaan membran. Tujuan dilakukan analisa morfologi membran yaitu untuk mengetahui dan memastikan baik secara visual maupun secara karakteristik kimia dari membran dan kontaminan yang tertahan diatas permukaan membran.

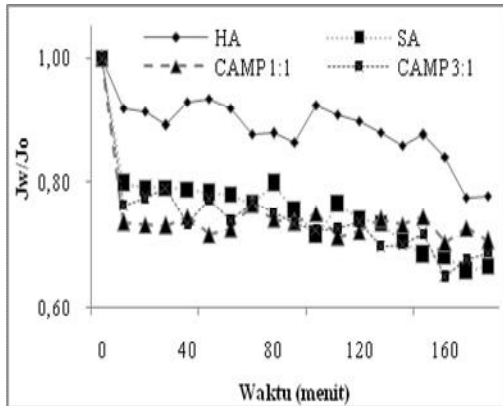


Gambar 1. Rangkaian alat kombinasi ozon dan membran; (a) wadah umpan, (b) pompa, (c) pressure gate, (d) modul membran, (e) penampung permeat, (f) kompresor, (g) ozon generator, (h) ozone flow meter.

III. Hasil dan pembahasan

a. Perilaku Fluks dan Rejeksi Membran UF

Gambar 1 menunjukkan bahwa selama waktu filtrasi terjadi penurunan fluks dari masing-masing larutan umpan. Terlihat bahwa penurunan larutan campuran cenderung menunjukkan hasil yang mirip dengan larutan tunggal SA. Sedangkan larutan tunggal HA menunjukkan profil fluks yang cenderung lebih tinggi dibandingkan ketiga profil fluks lainnya.



Gambar 2. Profil hasil uji fluks menggunakan membran PSH 100 kDa dengan variasi umpan HA 50 ppm (Humic Acid), SA 50 ppm (Sodium Alginat), dan Camp 1:1, 3:1 (Campuran). P=1 bar.

Tabel 1. Tingkat rejeksi larutan permeal SA dan HA dari larutan tunggal dan campuran

No.	Jenis Umpan		Rejeksi (%)
1	Tunggal	SA	30,15
2	Tunggal	HA	76,90
3	Campuran 1:1	SA	47,63
		HA	72,69
4	Campuran 3:1	HA	77,01
		SA	53,45

Lain halnya pengamatan pada rejeksi yang dihasilkan dari variasi umpan yang digunakan. Berdasarkan Tabel 1, nilai rejeksi HA, baik tunggal maupun dalam campuran, berkisar pada 76-77%, sedangkan tingkat rejeksi SA berada pada angka 30-53%. Jika diperhatikan, tingkat rejeksi pada larutan tunggal lebih kecil dibandingkan dengan tingkat rejeksi pada larutan campuran, baik 1:1 maupun 3:1.

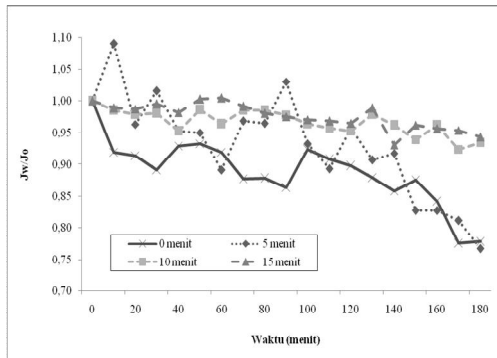
Penurunan nilai fluks SA yang relatif lebih tinggi dibandingkan HA, disebabkan oleh interaksi membran dengan HA maupun SA serta distribusi ukuran pori kedua umpan tersebut. Apabila ditinjau dari sifat hidrofilitas kedua umpan sangat mempengaruhi mekanisme terjadinya fouling pada permukaan membran baik secara deposisi maupun absorpsi. HA yang memiliki sifat yang cenderung hidrofobik daripada SA akan terjadi tolak menolak dengan membran yang memiliki sifat hidrofilik. Hal tersebut menyebabkan HA terakumulasi membentuk konsentrasi polarisasi diatas permukaan membran. Selain itu, distribusi bobot molekul HA yang lebih besar dari SA yaitu berkisar pada 7-500 kDa juga mengakibatkan deposisi

HA diatas permukaan membran lebih mudah tersapu oleh aliran crossflow yang digunakan. Lain halnya dengan SA, dimana sifat SA yang hidrofilik mengakibatkan adanya interaksi tarik-menarik dengan membran PSH dan menyebabkan sebagian SA teradsorpsi dan memblokir pori membran diawal filtrasi. Distribusi bobot molekul SA berada pada 32-200 kDa yang mengakibatkan pemblokiran pori dan adsorpsi kedalam permukaan membran. Oleh karena itu, profil fluks SA akan cenderung lebih rendah dibandingkan HA dan mengakibatkan rejeksi SA lebih kecil daripada HA, karena kemungkinan SA lolos melewati membran lebih besar.

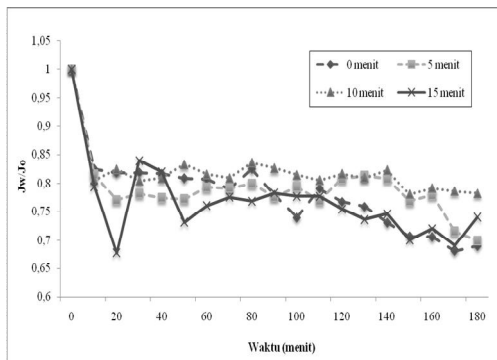
Pengujian fluks larutan umpan campuran dengan perbandingan HA dan SA sebesar 1:1 dan 3:1 menunjukkan profil fluks yang hampir sama dengan profil fluks SA tunggal, meskipun pada konsentrasi SA yang lebih rendah. Hal serupa juga dijelaskan oleh Kastoufidou et al. (2010), bahwa pada analisis mekanisme fouling yang terjadi pada larutan campuran HA:SA, baik perbandingan 1:1 maupun 3:1, menunjukan profil yang hampir identik dengan profil fluks larutan SA tunggal. Sebagian HA yang teradsorpsi kedalam pori, kemudian mengakibatkan penyumbatan pori dan meningkatkan retensi SA. Sedangkan, alginat membentuk cake kemudian menurunkan permeasi HA dan mengakibatkan tertahannya HA pada lapisan cake yang terbentuk. Ditunjukkan pula bahwa penurunan fluks yang terjadi tidak lebih banyak dipengaruhi oleh konsentrasi HA dalam umpan, namun lebih dipengaruhi oleh konsentrasi SA, meskipun dalam konsentrasi yang lebih rendah dibanding HA (Katsoufidou et al., 2010; Jermann, 2008). Pengaruh interaksi HA dan SA pada larutan campuran tersebut berpengaruh juga terhadap konsentrasi permeal yang dihasilkan. Dimana umpan campuran menunjukan tingkat rejeksi yang lebih besar daripada umpan tunggal.

Melihat fenomena pada mekanisme fouling yang terjadi, dapat dikatakan bahwa konsentrasi umpan memiliki pengaruh yang cukup signifikan pada profil fluks dan rejeksi membran. Hal tersebut juga didorong dengan adanya pengaruh SA dalam larutan. Meskipun dalam konsentrasi yang rendah, kecenderungan SA menyebabkan fouling lebih tinggi daripada HA dengan pemakaian membran yang bersifat hidrofilik.

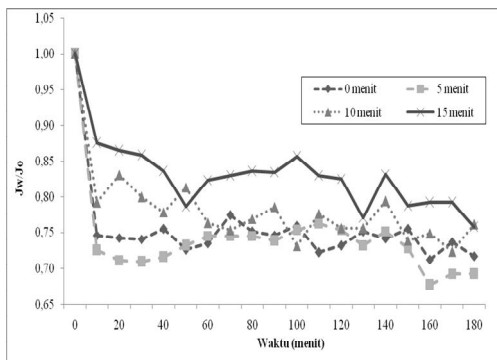
b. Pengaruh Ozon Terhadap Karakterisasi Membran



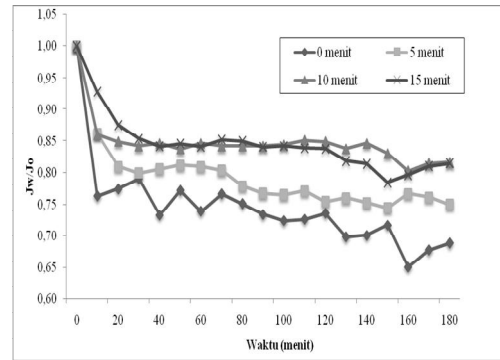
Gambar 3. Profil fluks larutan HA dengan variasi waktu kontak ozon



Gambar 4. Profil fluks larutan SA dengan variasi waktu kontak ozon



Gambar 5. Profil fluks larutan campuran 1:1 dengan variasi waktu kontak ozon



Gambar 6. Profil fluks larutan campuran 3:1 dengan variasi waktu kontak ozon

Pengontakkan ozon terhadap umpan sebelum difiltrasi dengan membran diharapkan dapat memberikan pengaruh terhadap fluks dan rejeksi yang lebih baik. Berdasarkan Gambar 3-6 terlihat bahwa ozon memberikan pengaruh yang beragam terhadap penurunan dan kenaikan nilai fluks dari masing-masing variasi umpan yang digunakan. Hal tersebut dapat dilihat pada awal maupun akhir filtrasi. Berdasarkan fenomena yang terjadi pada pengujian karakterisasi membran dengan variasi umpan dan waktu kontak ozon, dapat disimpulkan bahwa ozon memiliki kecenderungan dalam mengurangi fouling yang ditunjukkan dengan meningkatnya nilai fluks pada sebagian percobaan, dan peningkatan tingkat rejeksi membran terhadap umpan. Seperti yang terlihat pada profil fluks umpan tunggal HA, semakin lama waktu kontak baik fluks maupun rejeksi juga cenderung meningkat.

Disebutkan dalam Wang et al. (2007), bahwa ozon yang bersifat sebagai oksidator kuat memiliki peran yang sangat besar terhadap oksidasi gugus-gugus yang mengandung ikatan karbon rangkap atau alkohol aromatik, kemudian menjadikan sifat aromatiknya menurun atau bahkan hilang. Selain itu, ozon mengakibatkan terpecahnya struktur kimia pada komponen organik dan meningkatkan penguraian komponen dengan bobot molekul besar menjadi lebih kecil, seperti asam karboksilat, asam hidrofilik, karbohidrat, amino acid atau lain sebagainya. Molekul tersebut bersifat lebih polar, hidrofilik dan mudah larut dalam air sehingga memiliki permeabilitas yang tinggi ketika dilewatkan pada membran (Boulestreau dan Miehé, 2010). Lain halnya dengan yang terjadi pada larutan SA, bahwa kenaikan dosis ozon tidak

sebanding dengan kenaikan fluks membran. Disampaikan oleh Jensen (2005) oksidasi yang terjadi pada polisakarida cenderung lambat yang diakibatkan oleh terjadinya beberapa reaksi sampingan dengan radikal dan hidrolisis asam.

Fenomena yang sama terjadi pada larutan campuran HA dan SA yang sudah dikontakkan ozon. Gugus-gugus yang terdeprotonasi akan cenderung lebih reaktif terhadap ozon. Dengan semakin banyaknya molekul yang bereaksi dengan ozon tersebut, maka semakin banyak bobot molekul yang berukuran lebih kecil terbentuk karena terjadi perubahan struktur kimia dari masing-masing umpan (Boulestreau dan Miehe, 2010). Apabila ditinjau berdasarkan prinsip sieving mechanism, semakin kecil ukuran molekul umpan maka jumlah molekul umpan yang tertahan semakin sedikit.

Pengontakkan ozon menyebabkan adanya perubahan karakteristik umpan yang akan melewati membran. Sifat umpan yang lebih sederhana dengan bobot molekul lebih kecil dan sifat hidrofilik yang lebih meningkat mengakibatkan kenaikan fluks maupun rejeksi walau tidak signifikan. Penurunan nilai fluks pada akhir filtrasi masih diakibatkan karena adanya interaksi SA maupun HA yang belum sempurna bereaksi dengan ozon. Seperti halnya pada perilaku fluks dengan umpan yang tidak dikontakkan ozon, interaksi umpan dan membran yang cenderung dapat teradsorpsi pada mulut maupun didalam pori mengakibatkan nilai fluks masih mengalami penurunan.

Tabel 2. Tingkat Rejeksi Umpan dengan Variasi Waktu Kontak Ozon

Waktu Kontak Ozon (menit)	Tingkat Rejeksi (%)					
	HA		SA		CAMP 3:1	
	HA	SA	HA	SA	HA	SA
0	76,90	30,15	72,69	47,63	77,01	53,45
5	87,58	77,81	81,42	73,18	84,26	77,61
10	88,50	80,24	83,74	86,17	86,01	73,13
15	90,53	94,81	91,11	83,42	87,99	76,78

Pada hasil tingkat rejeksi membran terhadap larutan umpan juga menunjukkan hasil yang cukup bervariasi. Hal tersebut memiliki fenomena yang sama dengan reaksi yang terjadi pada fenomena kenaikan nilai fluks saat filtrasi dengan membran. Namun pada pengamatan hasil rejeksi, ozon memiliki

pengaruh yang cukup signifikan pada waktu kontak selama 5-10 menit. Hal tersebut ditunjukkan dari besarnya kenaikan rejeksi pada umpan yang dikontakkan dengan ozon selama 5-10 menit.

Sejalan dengan itu, Wang et al. (2007) menjelaskan bahwa UV_{254} yang korespon dengan panjang gelombang UV larutan HA yang merupakan material tidak jenuh yang mengandung aromatik hidrokarbon, ikatan karbon rangkap dan karbonil yang mudah bereaksi dengan ozon. Ozon tersebut memecah cincin benzene dan mengakibatkan sifat aromatik menjadi menurun bahkan menghilang. Reaksi ozon akan cepat pada 5 menit pertama dan melambat setelahnya yang kemudian mengakibatkan %rejeksi dengan waktu kontak pre-ozonasi 5 menit, 10 menit, dan 15 menit tidak berbeda jauh, begitu pula pada hasil yang diberikan pada analisis TOC. Song et al. (2010) juga melaporkan bahwa molekul organik dalam menyerap UV_{254} mengalami penurunan sensitifitas yang disebabkan menurunnya bobot molekul pada larutan umpan yang sudah dikontakkan dengan ozon. Dilaporkan pula bahwa absorbansi UV_{254} masih terbaca pada bobot molekul diatas 3kDa, sedangkan pada bobot molekul dibawa 0,5kDa sensitifitas penyerapan UV_{254} menurun.

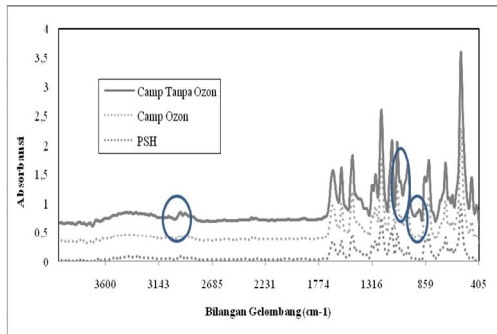
c. Karakteristik Morfologi Membran

1) Analisis Fourier Transform Infrared Spectroscopy

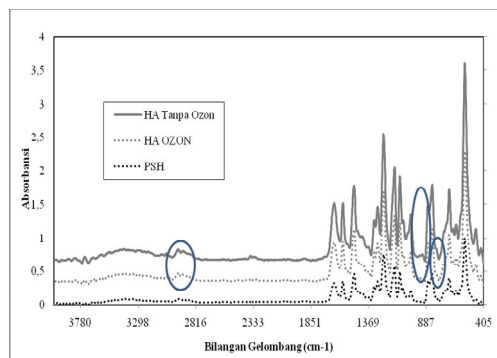
Analisa FTIR dilakukan untuk mengetahui secara kualitatif gugus fungsi pada permukaan membran yang disebabkan oleh fouling. Pada Gambar 7-9 menunjukkan hasil yang seragam, baik HA maupun campuran, yang dilakukan kontak dengan ozon maupun tidak. Absorbansi terlihat pada puncak $1012,58\text{ cm}^{-1}$, dengan kisaran $1058,87-960,5\text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan adanya gugus alkohol dan asam karboksilat. Selain itu, ditemukan juga pada $950-890\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan daerah frekuensi untuk cincin aromatik dan alkena (Skoog et al. 2007). Pada wilayah spektrum $3052-2816\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan bahwa adanya gugus aldehyd dan keton, serta karboksilik acid dengan bounded – OH.

Gugus fungsi yang terbaca berdasarkan hasil analisa merupakan indikasi bahwa adanya gugus fungsi molekul organik HA dan

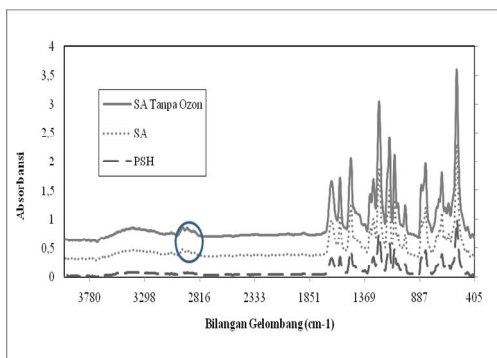
SA, pada pengamatan filtrasi larutan umpan tunggal maupun campuran. Gugus fungsi yang ada pada HA terdiri dari gugus karboksil (-COOH) dan gugus fenol (-OH fenolat), maupun hidroksil (-OH alkoholat), sedangkan gugus fungsi yang ada pada SA antara lain gugus asam-asam karbosiklik (R-COOH). Hal tersebut menunjukkan bahwa pada permukaan membran terjadi fouling dengan terbacanya gugus fungsional penyusun HA dan SA, baik pada larutan campuran maupun larutan tunggal.



Gambar 4.7. Hasil analisa FTIR larutan umpan Campuran



Gambar 4.8. Hasil analisa FTIR larutan umpan HA tunggal 50 ppm



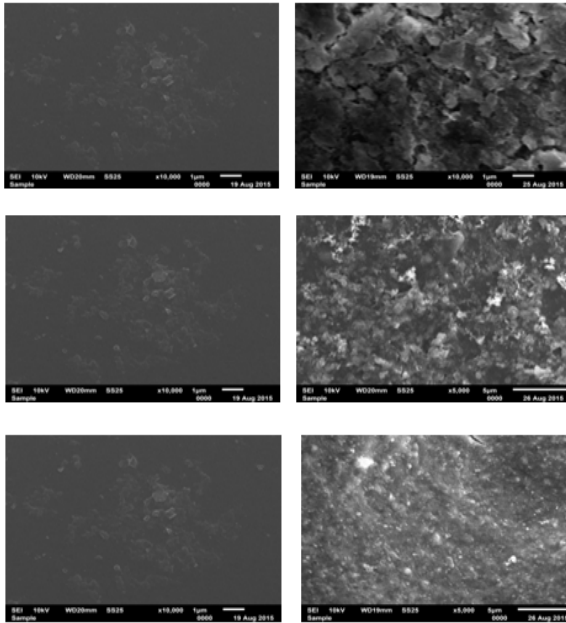
Gambar 4.9. Hasil analisa FTIR larutan umpan campuran 3:1

2) Analisa SEM (Scanning Electron Microscopy)

Selain digunakan FTIR sebagai pengujian morfologi membran, digunakan pula SEM atau *scanning electron microscope*. Pada penelitian ini dilakukan uji SEM terhadap membran baru, membran filtrasi campuran umpan 3:1, dan tunggal baik yang sudah dikontakkan dengan ozon selama 15 menit maupun belum.

Berdasarkan hasil analisa dengan SEM menunjukkan bahwa pada permukaan membran terjadi fouling yang diakibatkan HA dan SA. Fouling terlihat pada permukaan membran yang dikontakkan dengan ozon maupun tidak.

Fouling yang terjadi pada membran yang dilewatkan dengan umpan campuran 3:1 tanpa adanya ozon menunjukkan kenampakan yang menyerupai retakan tanah kering. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa akumulasi deposisi umpan mengakibatkan terbentuknya lapisan baru pada permukaan membran. Pada permukaan membran tanpa adanya kombinasi ozon, fouling yang terjadi lebih padat dan utuh. Sedangkan pada membran dengan umpan yang sudah dikontakkan dengan ozon menunjukkan visualisasi retakan tanah kering yang cenderung lebih berkurang. Pembentukan lapisan baru pada permukaan membran tersebut dapat dikatakan sebagai cake layer yang terbentuk karena adanya interaksi antara HA dan SA yang cenderung membentuk molekul yang lebih besar, sehingga deposisi umpan lebih lanjut mengakibatkan terbentuknya cake layer. Visualisasi retakan tanah kering pada membran dengan umpan yang sudah dikontakkan ozon menjadi lebih berkurang dapat dikarenakan adanya pengaruh ozon terhadap pemecahan sebagian besar molekul umpan sebelum dilewatkan pada membran.



Gambar 10. Gambar 12. Hasil analisa SEM pada (kanan-kiri) membran baru, membran tanpa kombinasi ozon, membran dengan kombinasi ozon dengan variasi umpan (atas-bawah) campuran 3:1, HA dan SA dengan perbesaran 5000x.

Ditunjukkan pula pada pengamatan umpan HA dan SA, baik umpan yang sudah dikontakkan ozon maupun tidak. Ozon menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap visualisasi umpan yang dilewatkan pada membran. Fouling dari umpan HA maupun SA yang sudah dikontakkan dengan ozon terlihat lebih sederhana dibandingkan dengan fouling pada umpan sebelum dikontakkan dengan ozon. HA terlihat lebih tersebar merata pada permukaan dan tidak terlihat lagi akumulasi deposisi pada permukaan membran, sedangkan pada SA yang sudah dikontakkan ozon, menunjukkan visualisasi seperti filamen dengan kenampakan yang lebih halus dibandingkan dengan sebelum dikontakkan dengan ozon.

IV. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa pengaruh konsentrasi umpan dan waktu kontak ozon terhadap umpan sebelum dilakukan filtrasi menunjukkan hasil yang variatif. Pada pengamatan variasi konsentrasi, penurunan kinerja membran lebih diakibatkan oleh keberadaan SA walaupun dalam

konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan HA.

Sedangkan pada hasil pembahasan dengan pengaruh variasi kontak ozon terhadap umpan dinilai lebih efektif dalam menyisihkan kontaminan pada rentang waktu 5-10 menit yang dilanjutkan dengan menggunakan membran ultrafiltrasi. Sebelum dilakukan pengontakan ozon diperoleh rejeksi membran pada umpan SA sebesar 32-53%, sedangkan HA sebesar 72-77%. Setelah dilakukan kontak dengan ozon diperoleh rejeksi membran sebesar 81-91%, dan SA sebesar 72-86%. Penurunan nilai fluks yang variatif pada awal maupun akhir filtrasi dapat diakibatkan karena adanya sebagian HA maupun SA yang tidak bereaksi dengan ozon dan mengakibatkan fouling masih banyak terbentuk. Berdasarkan hasil analisa FTIR dan menunjukkan adanya gugus penyusun HA dan SA setelah dikontakkan dengan ozon.

Oleh karena itu, pengaruh waktu kontak ozon sebagai pengolahan pendahuluan masih dinilai belum optimal dalam meningkatkan efektifitas kinerja membran, terutama dalam peningkatan nilai fluks. Sehingga dibutuhkan pengembangan dalam teknik ozonasi yang dilakukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didukung sepenuhnya oleh Membrane Research Center, UPT Laboratorium Terpadu. Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya penulis berikan pada Prof. Dr.rer.nat. Heru Susanto, ST, MT, MM dan Titik Istirokhatun, ST, MSc atas bimbingannya dalam penelitian Penyisihan Humic Acid Dan Extracellular Polymeric Substances Dalam Air Permukaan Dengan Menggunakan Kombinasi Ozon Dan Teknologi Membran Ultrafiltrasi ini.

RUJUKAN

- Boulestreau, M., dan Mieke, Ulf. 2010. State Of The Art Of The Effect Of Coagulation And Ozonation On Membrane Fouling. Department "WWT". Berlin: KompetenzZentrum Wasser.
- Departemen Lingkungan dan Konservasi Newfoundland dan Labrador. 2011. "Study on Characteristics and Removal of Natural Organic Matter in Drinking



- Water Systems in Newfoundland and Labrador". Canada.
- Jermann, D. 2008. "Membrane Fouling During Ultrafiltration for Drinking Water Production – Causes, mechanism, and Consequences.". Disertasi. Switzerland: Swiss federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Jensen, R.H.S., de Rijk, J.W., Zwijnenburg, A., Mulder, M.H.V., Wessling, M. "Hollow fiber membrane contactors—A means to study the reaction kinetics of humic substance ozonation". *Membrane Science* 257 (2005) 48–59.
- Katsoufidou, K.S, Sioutopoulos, D.C., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J. 2010. "UF Membrane Fouling By Mixtures Of Humic Acids And Sodium Alginate: Fouling Mechanisms And Reversibility". *Desalination* 264 hal. 220-227.
- Matilainen, A., Vepsäläinen M., Sillanpää M. 2010. "Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: a review". *Advances in Colloid and Interface Science*. Volume 159, Issue 2, hal. 189–197.
- More, T.T., Yadav, J.S.S., Yan, S., Surampalli, R.Y.. 2014. "Extracellular polymeric substances of bacteria and their potential environmental applications". *Journal of Environmental Management* 144 hal. 1-25.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principle of Membrane Technology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., Crouch, S.R.. 2007. *Principles of Instrumental Analysis*. Cole: Thomson Brooks.
- Song, Y., Dong, B., Gao, N., Xia, S.. "Huangpu River water treatment by microfiltration with ozone pretreatment". *Desalination* 250 (2010) 71–75.
- Susanto, H. 2011. *Teknologi Membran*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Van Geluwe, S., Braeken, L., Van der Bruggen, B.. "Ozone oxidation for alleviation of membrane fouling by natural organic matter: A Review". *Journal of Water Research* 45 (2011) 3551-3570.
- Wang, X., Wang, L., Liu, Y., Duan W. "Ozonation pretreatment for ultrafiltration of the secondary effluent". *Journal of Membrane Science* 287 (2007) 187–191.
- Xiao, F., Yi, P., Pan, X.-R., Zhang, B.-J. and Lee, C.. 2010. "Comparative Study Of The Effects Of Experimental Variables On Growth Rates Of Aluminum And Iron Hydroxide Floccs During Coagulation And Their Structural Characteristics." *Desalination* 250:902-907.