

KARAKTERISTIK PENURUNAN FLUKS PADA FILTRASI LARUTAN HUMIC ACID DENGAN MEMBRAN MIKROFILTRASI

Ardiansyah (L2C006017) dan Ario Budi Kusumo (L2C006020)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024) 7460058
Pembimbing : Dr. I Nyoman Widiasta ST., MT.

Abstrak

Air permukaan mengandung berbagai macam zat alami. Salah satunya adalah Humic Acid (HA) yang merupakan salah satu penyebab utama fouling pada membran dan bersifat karsinogenik bagi manusia. Studi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik penurunan flux pada filtrasi HA dengan menggunakan membran Mikrofiltrasi. Analisa dilakukan dengan pengukuran flux dan absorbansi larutan dengan menggunakan spektrofotometer. Kesimpulan yang dapat diambil adalah Penurunan flux yang cepat terjadi pada 5 menit awal percobaan kemudian menurun secara perlahan setelah menit ke-15. semakin tinggi konsentrasi HA maka penurunan fluxnya akan semakin cepat, dengan J/Jw HA 5 ppm pada menit ke-120 mencapai angka 0,49 dan J/Jw HA 25 ppm+CaSO₄ merupakan campuran yang paling lambat mengalami penurunan flux yaitu pada angka 0,51. Untuk perbandingan penurunan flux berdasarkan tekanan, semakin tinggi tekanan maka penurunan flux akan semakin cepat. Sedangkan untuk perbandingan penurunan flux berdasarkan pH, penurunan flux akan semakin kecil seiring dengan peningkatan pH. Pada penambahan injeksi ozon, terlihat bahwa penambahan ozon tidak memberikan perubahan signifikan terhadap penurunan flux.

Kata Kunci : Mikrofiltrasi, Humic Acid, Fouling, Ozon

Abstract

Natural surface water is containing various organic matter. One of them is Humic Acid (HA) which is known as the major cause of fouling in membrane filtration, and proved carcinogenic to human body. This study is carried to characterize flux reduction of HA filtration with Microfiltration Membrane. The analysis in the research is carried out by flux and absorbancy measuring. From this study the following conclusion can be taken; highest flux reduction are detected in the first 5 minutes of operations then slows down in the 15th minutes and later, where higher the HA solution concentration, will result in higher flux reduction. With the HA 5 ppm and HA 25 ppm's J/Jw in 0,49 and 0,25, respectively in the 120th minutes. The addition of ion CaSO₄ slows the rate of flux reduction, where it shows J/Jw of 0,051 in the 120th minute. For filtration in different pressure, higher the pressure will result in higher rate of flux reduction too., While in filtration of HA solution in different pH, higher the pH will result in the lowering the rate of reduction of flux. In the addition of ozone injection, the experiment carried shows that ozone addition is not giving any significant change on flux reduction.

Keywords : Microfiltration, Humic Acid, Fouling, Ozon

Pendahuluan

Air adalah kebutuhan pokok makhluk hidup maupun industri, sehingga keberadaannya mutlak harus ada. Ketersediaan air di muka bumi ini sangat melimpah, tetapi tidak mudah untuk mendapatkan air bersih. Hal ini dikarenakan aktivitas manusia yang tidak bertanggung jawab, seperti membuang sampah dan limbah industri di sungai, sehingga terjadi pencemaran dan penurunan kualitas air. Dengan adanya penurunan kualitas ini menyebabkan air tidak memenuhi persyaratan baik fisik, kimia, maupun biologis untuk dikonsumsi oleh makhluk hidup maupun industri.

Sekarang ini telah ditemukan teknologi membran untuk pengolahan air, salah satunya mikrofiltrasi (MF). Mikrofiltrasi diperkenalkan pada pasar pengolahan air buangan pada tahun 1987 dan digunakan untuk mengolah air buangan industri yang relatif mudah untuk dibersihkan. Sumber air ini merupakan sumber air yang mudah terjadi kontaminasi mikrobial[1]. Mikrofiltrasi merupakan pemisahan partikel berukuran mikron atau submikron. Bentuknya lazim berupa *cartridge* atau *flat sheet* dan berguna untuk menghilangkan partikel dari air yang berukuran

0,04 sampai 100 mikron, asalkan kandungan padatan total terlarut tidak melebihi 100 ppm [2]. Aplikasi Mikrofiltrasi terutama untuk penghilangan bakteri, material terflokulasi dan TSS (*Total Suspended Solids*) [3]. Keuntungan menggunakan teknologi membran antara lain energi yang dibutuhkan rendah, dapat beroperasi secara *batch* maupun kontinyu, tidak ada penambahan produk buangan, dapat digabungkan dengan proses pemisahan lainnya, mudah di *scale up*, pemisahan dapat dilakukan dalam kondisi yang mudah diciptakan [4-5]. Mikrofiltrasi biasanya dijalankan pada tekanan rendah yaitu 1-10 bar dan bekerja berdasarkan ukuran partikel.

Salah satu hambatan dalam aplikasi teknologi Mikrofiltrasi adalah terjadinya *fouling*. *Fouling* membran merupakan perubahan irreversibel yang terjadi pada membran yang disebabkan oleh interaksi fisik dan atau kimia spesifik antara membran dan komponen-komponen yang ada dalam aliran proses. *fouling* membran menyebabkan penurunan fluks permeat dalam mikrofiltrasi. Kejadian ini tidak dapat dihindari lagi dan menjadi sebuah tantangan berat pada membran.

Salah satu penyebab utama *fouling* adalah bahan-bahan organik, diantaranya adalah *Humic Acid* (HA). HA merupakan substansi utama komponen humus dan merupakan konstituen organik utama dalam tanah, tanah gambut, air laut, dan batu bara[6], serta memberikan warna coklat kekuningan pada air. HA bereaksi dengan Klorin yang digunakan dalam pengolahan air dan menghasilkan Trihalometana (THM) yang merupakan karsinogen [7]. Zat ini dapat membentuk lapisan pada permukaan membran, yang biasa disebut dengan *fouling* [8]. Untuk itu diperlukan suatu metode untuk mengatasi *fouling* HA ini dan meningkatkan fluks permeat. Beberapa cara untuk mengurangi *fouling* HA diantaranya adalah perlakuan awal umpan membran salah satunya dengan injeksi ozon pada umpan membran.

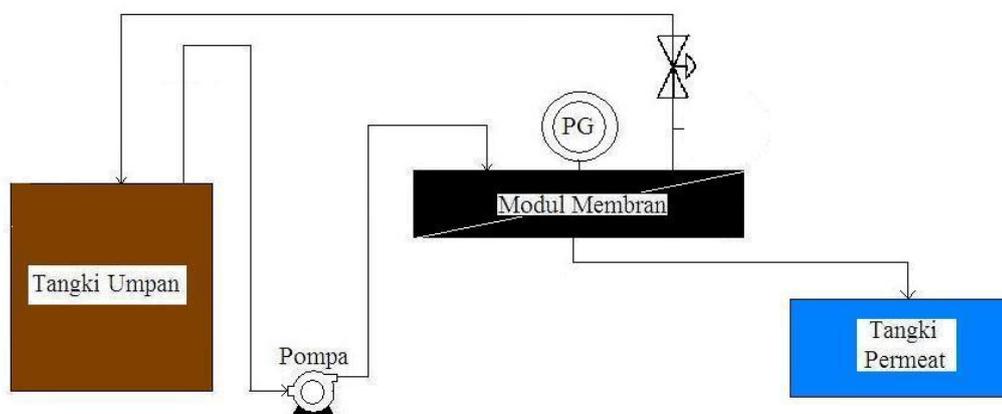
Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik penurunan fluks permeat filtrasi larutan HA pada berbagai kondisi operasi, kondisi larutan campuran ion, dan injeksi ozon pada umpan membran.

Bahan dan Metode Penelitian

Variabel yang digunakan dalam percobaan ini meliputi konsentrasi HA, jenis campuran ion pada larutan HA, tekanan operasi, kondisi pH, dan injeksi ozon pada larutan HA murni.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bubuk HA buatan Aldrich, yang memiliki konsentrasi komponen molekul berat yang tinggi serta memiliki sifat hidrofobik yang tinggi [9], pada konsentrasi 5 ppm dan 25 ppm. Larutan HA dibuat dengan melarutkan bubuk HA pada aquadest dan kemudian dilakukan pengadukan selama 1 jam dengan menggunakan *Magnetic Stirrer*. Padatan yang tersisa disaring dengan menggunakan kertas saring. Campuran ion yang digunakan adalah CaCl_2 , CaSO_4 dan MgSO_4 . Larutan HA dengan campuran ion dibuat dengan cara larutan CaCl_2 , CaSO_4 dan MgSO_4 pada konsentrasi 0,01 M dilarutkan pada larutan HA konsentrasi 25 ppm. Sedangkan bahan berupa larutan HA 25 ppm dengan pH 8 dibuat dengan mencampurkan NaOH hingga terukur pH 8 dengan kertas pH. Membran yang digunakan adalah membran Mikrofiltrasi buatan Membrana Gmbh. dengan ukuran pori antara 0,05 μm hingga 1 μm . Membran dipotong membentuk lingkaran menyesuaikan modul membran dengan luas 95 cm^2 .

Rangkaian alat yang digunakan seperti yang terlihat dalam gambar dibawah ini:



Gambar 1 Gambar skema proses kerja filtrasi membran

Percobaan dilakukan dengan cara mengalirkan umpan membran ke dalam modul membran selama 2 jam. Tekanan diatur dengan menggunakan valve pada selang retentat, dimana tekanan yang diatur akan ditunjukkan pada pressure gauge (PG) pada modul membran. Pengukuran flux dilakukan berdasarkan rumus berikut :

$$J = V_{sampel} \times \left(\frac{1 l}{1000 ml}\right) \times \left(\frac{3600 s}{1 jam}\right) \times \left(\frac{1}{t_{sampel}}\right) \times \left(\frac{1}{A_{membran}}\right) \quad (1)$$

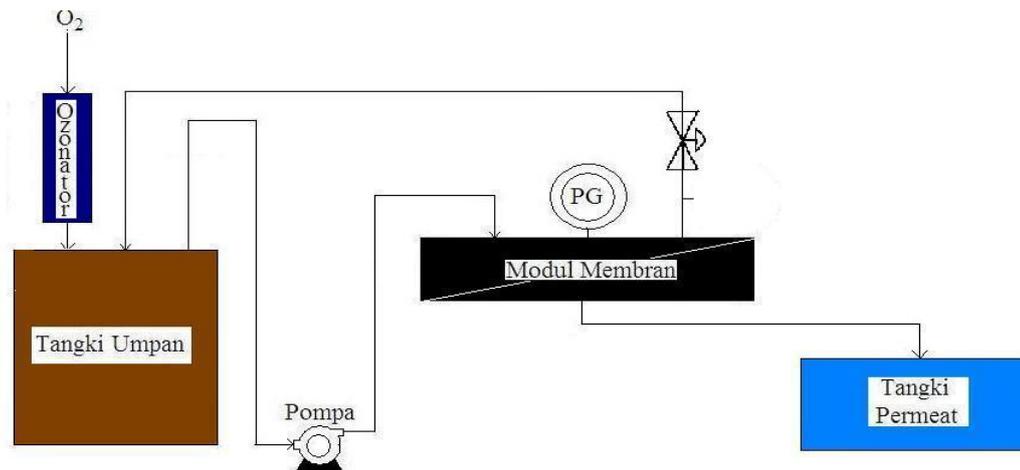
Dimana V_{sampel} adalah volume permeat sebanyak 10 ml yang dialirkan ke dalam gelas ukur, sedangkan t_{sampel} adalah waktu yang dibutuhkan untuk 10 ml volume sampel tersebut mengalir ke dalam gelas ukur dalam detik. Pengukuran dilakukan pada menit ke 5, 15, 30, 60, dan 120. J merupakan flux permeat bahan, sedangkan J_w adalah flux air awal sebelum membran digunakan untuk bahan. Nilai J memiliki rentang yang sangat jauh dikarenakan ukuran pori yang rentangnya cukup jauh (antara 0,05 sampai 1) sehingga penyajian datanya menggunakan Flux ratio (J/J_w) yang merupakan flux permeat bahan pada waktu tertentu dibagi flux aquadest yang dilewatkan pada membran sebelum membran digunakan untuk filtrasi bahan.

Sedangkan pengukuran rejeksi dilakukan dengan berdasarkan rumus berikut.

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \quad (2)$$

Sampel diambil dari aliran feed dan permeat untuk kemudian diukur absorbansinya dengan alat spektrometer. C_p dan C_f secara berurutan adalah konsentrasi permeat dan konsentrasi feed, dimana dalam penelitian ini bisa digunakan absorbansi permeat dan absorbansi feed. Absorbansi diukur pada gelombang 206 nm yang didapat dari hasil scan spektrofotometer terhadap larutan HA konsentrasi 25 ppm.

Rangkaian alat pada percobaan yang menggunakan ozonator dilakukan seperti gambar berikut:



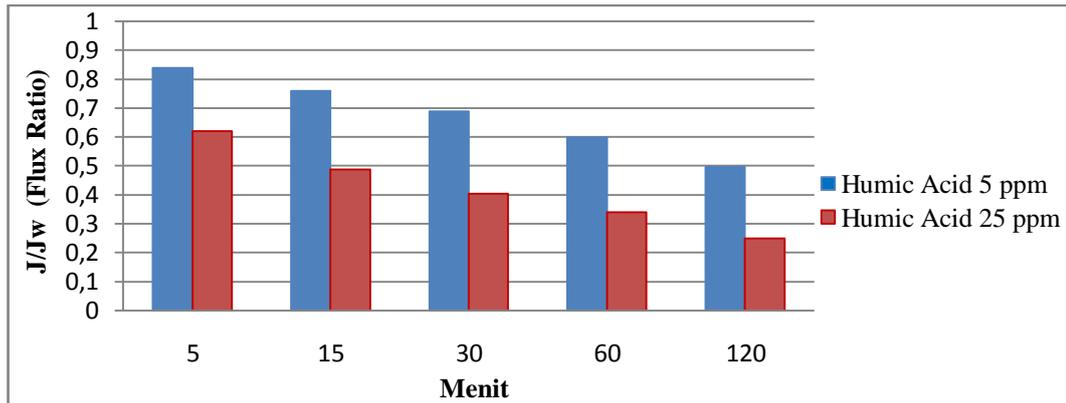
Gambar 2 Gambar skema proses kerja filtrasi membran dengan ozonator

Ozonator yang digunakan memiliki kapasitas 2,8 g/l. Selang ozonator dicelupkan hingga ke dasar Tangki Umpan untuk mendapatkan kontak antara gelembung ozon dengan cairan yang maksimal.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Penurunan Flux Berdasarkan Konsentrasi Umpan

Percobaan ini memperlihatkan perbandingan karakteristik flux permeat pada filtrasi larutan HA pada konsentrasi 5 ppm dan 25 ppm.



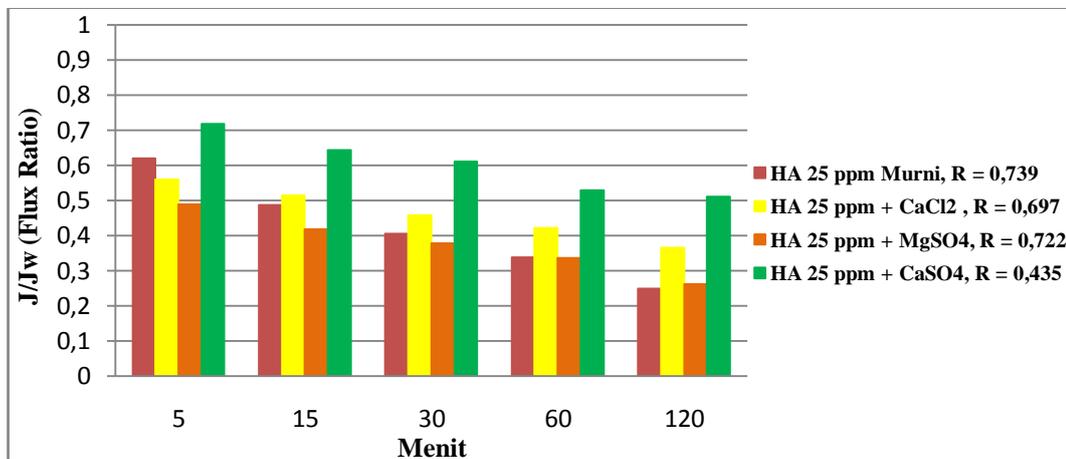
Gambar 3 Grafik Penurunan Flux Permeat Filtrasi larutan HA pada konsentrasi 5 ppm dan HA 25 ppm

Penurunan J/J_0 HA 5 ppm berjalan lebih lambat daripada penurunan J/J_w HA 25 ppm, dimana pada menit ke-5 HA 5 ppm menunjukkan angka 0,84 dan terus menurun hingga menunjukkan angka 0,49 pada menit ke-120, sedangkan HA 25 ppm menunjukkan angka 0,62 pada menit ke-5 dan pada menit ke-120 menunjukkan angka 0,25. Sementara itu sejalan dengan penurunan flux-nya, nilai rejeksi HA 5 ppm lebih tinggi, yaitu mencapai 0,93, dibandingkan dengan nilai rejeksi HA 25 ppm yaitu 0,74.

Senyawa HA dengan konsentrasi yang lebih besar menyumbat pori membran dan menimbulkan lapisan fouling yang disebut foulant lebih banyak. foulant ini akan terakumulasi pada permukaan membran sehingga mengakibatkan kurangnya efektivitas dan fluks membran. [1]

Karakteristik Penurunan Flux Berdasarkan Campuran Ion

Pada percobaan ini digunakan larutan HA konsentrasi 25 ppm dengan tambahan campuran ion berupa larutan CaCl_2 , CaSO_4 , dan MgSO_4 , masing-masing memiliki konsentrasi 0,01 M dalam larutan HA 25 ppm.



Gambar 4 Grafik Perbandingan flux permeat filtrasi larutan HA 25 ppm murni dengan filtrasi larutan HA 25 ppm campuran ion

Adanya gugus Karboksilat dan fenolat memberikan HA kemampuan untuk membentuk kompleks dengan ion seperti Mg^{2+} dan Ca^{2+} . Humic Acid yang memiliki dua atau lebih gugus-gugus tersebut dapat membentuk chelat. [10-11]

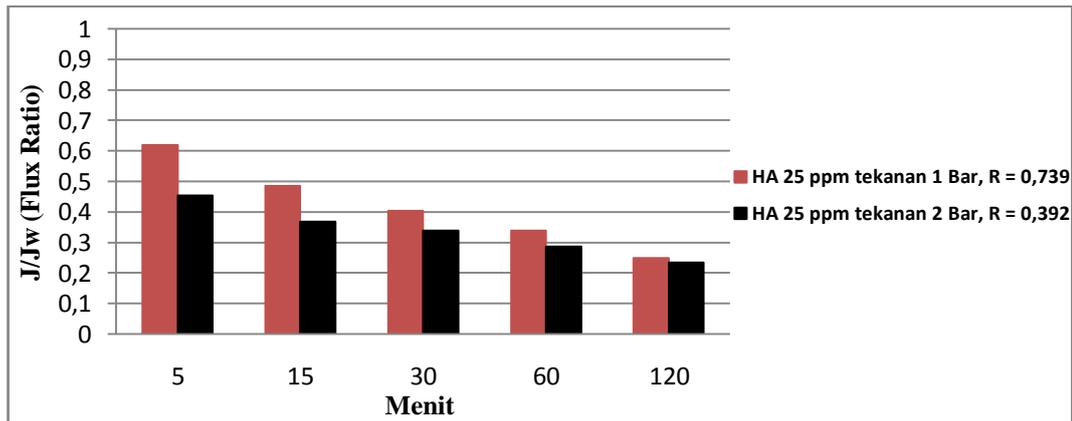
Dalam percobaan ini terlihat bahwa pada menit ke-5 nilai J/J_w HA 25 ppm murni menunjukkan angka 0,62, lebih tinggi dibanding flux HA 25 ppm+ CaCl_2 (0,56) dan HA 25 ppm+ MgSO_4 (0,49). Namun pada menit ke-15 J/J_w HA 25 ppm murni turun menjadi 0,49 dan terus menunjukkan penurunan yang lebih cepat daripada J/J_w CaCl_2 , dimana pada titik terakhir di menit ke-120 J/J_w HA 25 ppm murni menunjukkan angka 0,25 sedangkan J/J_w CaCl_2 menunjukkan angka 0,36. Sedangkan J/J_w HA 25 ppm+ MgSO_4 menunjukkan penurunan ke angka 0,42 dan tetap berada dibawah J/J_w HA 25 ppm murni hingga pada titik terakhir di menit ke-120 hanya menunjukkan angka 0,26 hanya lebih tinggi sedikit dari J/J_w HA 25 ppm pada titik tersebut. Sementara itu HA 25 ppm+ CaSO_4 menunjukkan

penurunan yang lebih rendah daripada HA 25 ppm murni dan HA 25 ppm+CaCl₂ serta HA 25 ppm+MgSO₄, yaitu menjadi 0,72 dan menunjukkan penurunan yang lebih lambat dibandingkan dengan HA 25 ppm murni hingga pada menit ke-120 menunjukkan angka 0,51 yang merupakan nilai J/Jw tertinggi pada titik terakhir di menit ke-120.

Sementara bila dilihat dari nilai rejeksinya, rejeksi HA 25 ppm murni dan HA 25 ppm+MgSO₄ menunjukkan angka yang lebih tinggi, yaitu 0,74 dan 0,72. Sedangkan HA 25 ppm+CaSO₄ yang menunjukkan penurunan flux yang paling lambat dibandingkan lainnya, justru memiliki nilai rejeksi yang paling rendah, yaitu 0,43.

Karakteristik Penurunan Flux Berdasarkan Tekanan Operasi

Pada percobaan ini filtrasi larutan HA 25 ppm dilakukan pada tekanan yang berbeda yaitu tekanan 1 bar dan 2 bar.



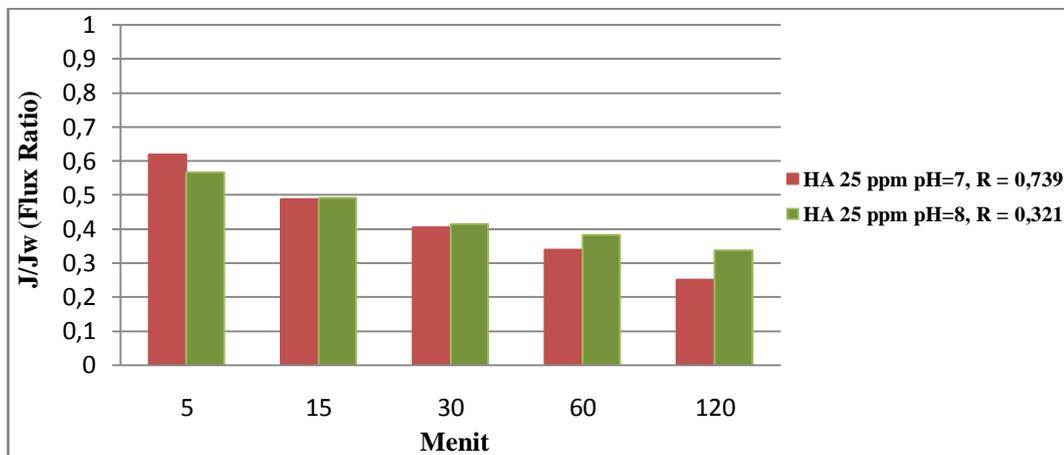
Gambar 5 Grafik Perbandingan Flux Permeat Filtrasi larutan HA 25 ppm 1 bar dengan flux Filtrasi larutan HA 25 ppm 2 bar

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan yang diberikan, maka penurunan fluks yang dihasilkan akan semakin besar juga. Pada menit ke-5 J/Jw HA 25 ppm pada tekanan operasi 2 atm akan menunjukkan angka 0,455 sedangkan J/Jw HA 25 ppm dengan tekanan operasi 1 atm menunjukkan angka 0,619. J/Jw HA 25 ppm dengan tekanan operasi 1 atm akan terus berada lebih tinggi dibandingkan J/Jw HA 25 ppm dengan tekanan 2 bar, hingga pada titik terakhir di menit ke-120, J/Jw HA 25 ppm dengan tekanan operasi 2 bar, yaitu 0,235, akan sedikit lebih rendah daripada J/Jw HA 25 ppm dengan tekanan 1 bar dengan 0,25. Nilai rejeksi HA 25 ppm pada tekanan 1 bar juga menunjukkan angka yang lebih tinggi. Yaitu 0,74 daripada HA 25 ppm pada tekanan 2 bar, yaitu 0,39.

Hal ini disebabkan karena polarisasi konsentrasi terjadi semakin cepat pada tekanan tinggi dibandingkan dengan membran yang dioperasikan pada tekanan rendah dengan waktu operasi yang sama.[12]

Karakteristik Penurunan Flux Berdasarkan pH

Pada percobaan ini dibandingkan larutan HA 25 ppm pada pH=7 dengan larutan HA 25 ppm pada pH=8.



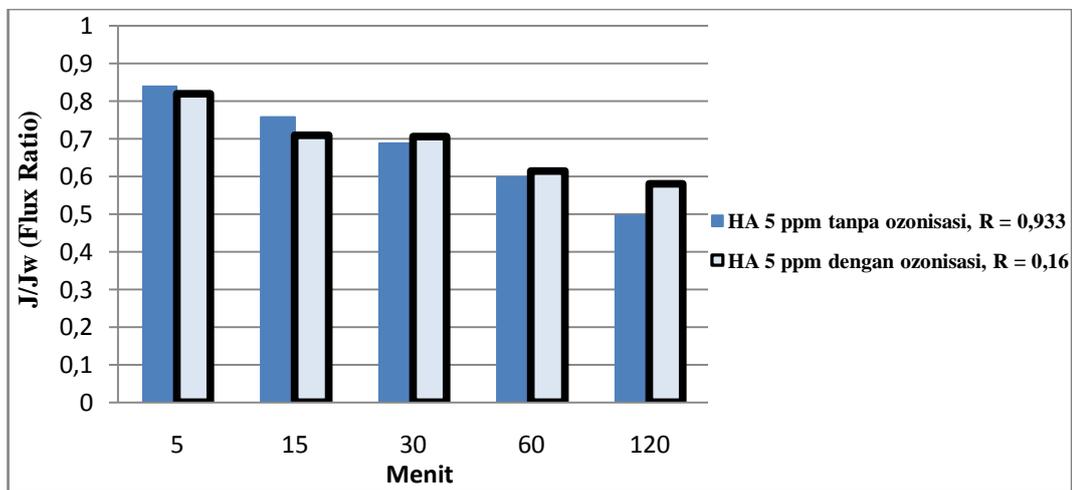
Gambar 6 Grafik Perbandingan Flux Permeat Filtrasi larutan HA 25 ppm pH 7 dengan flux Filtrasi larutan HA 25 ppm pH 8

Pada grafik diatas terlihat bahwa pada menit ke-5 J/Jw HA 25 ppm pH 7 menunjukkan angka 0,619 lebih tinggi daripada J/Jw HA 25 ppm yang menunjukkan angka 0,565. Namun pada menit ke 15 J/Jw HA 25 ppm pH=8 adalah 0,49 lebih tinggi sedikit dibandingkan J/Jw HA 25 ppm pH=7 yang menunjukkan angka 0,487. J/Jw HA 25 ppm pH 8 menunjukkan penurunan yang lebih lambat dibandingkan dengan J/Jw HA 25 ppm pH 7 pada menit-menit selanjutnya hingga pada titik terakhir di menit ke-120 J/Jw HA 25 ppm pH 8 menunjukkan angka 0,337 sedangkan J/Jw HA 25 ppm pH 7 menunjukkan angka 0,25. Sedangkan rejeksi HA 25 ppm pH 8 menunjukkan angka 0,321, lebih rendah daripada nilai rejeksi HA 25 ppm pH 7, yang menunjukkan angka 0,739.

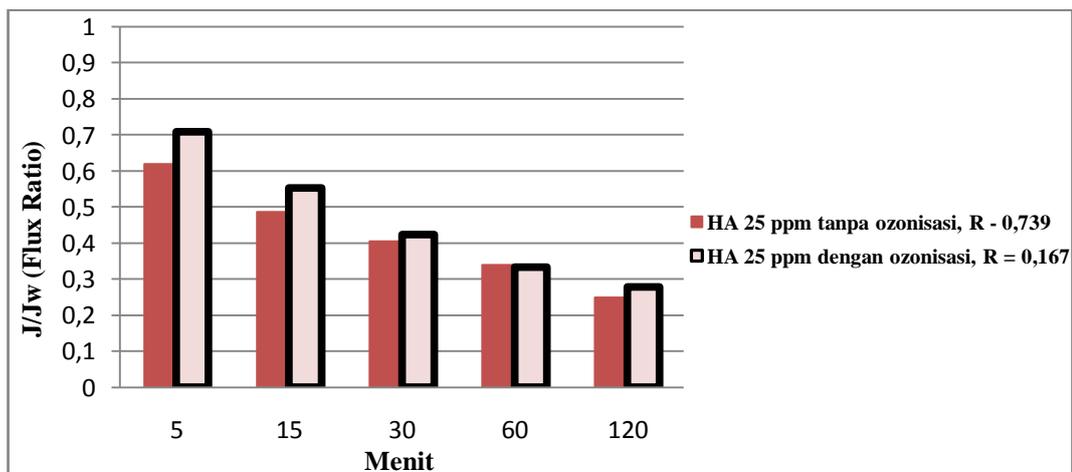
Hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi pH maka penurunan fluksnya semakin lambat. Hal ini disebabkan karena HA merupakan bahan makromolekul polielektrolit yang memiliki gugus fungsional seperti -COOH, -OH fenolat maupun -OH alkoholat sehingga HA memiliki peluang untuk membentuk kompleks dengan ion logam karena gugus ini dapat mengalami deprotonasi pada pH yang relatif tinggi.[13]

Karakteristik Penurunan Flux Berdasarkan Konsentrasi Umpan Dengan Injeksi Ozon

Dibawah ini diperlihatkan grafik perbandingan antara penurunan flux pada filtrasi larutan HA pada konsentrasi 5 ppm dan 25 ppm.



Gambar 7a Grafik perbandingan antara flux permeat filtrasi larutan HA 5 ppm tanpa ozonisasi dengan flux permeat filtrasi larutan HA 5 ppm dengan ozonisasi

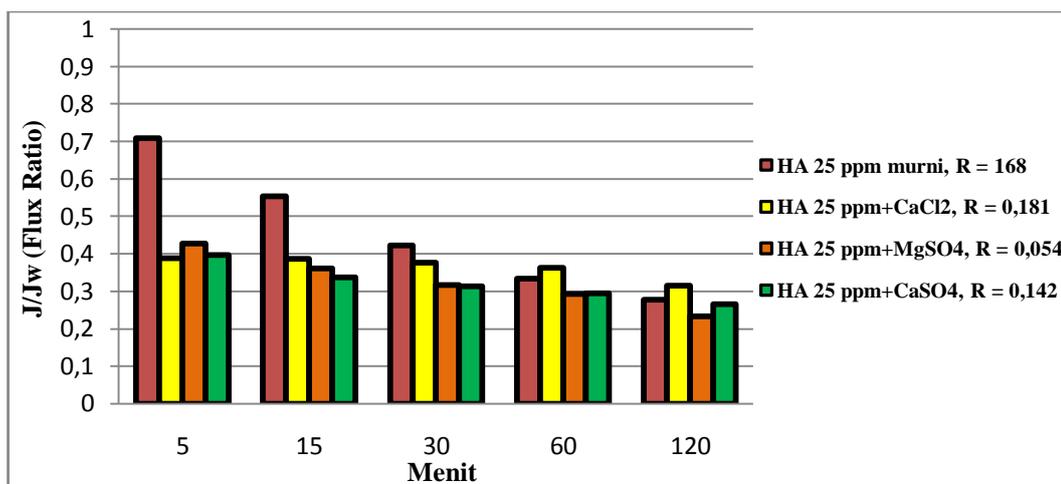


Gambar 7b Grafik perbandingan antara flux permeat filtrasi larutan HA 25 ppm tanpa ozonisasi dengan flux permeat filtrasi larutan HA 25 ppm dengan ozonisasi.

Penurunan flux permeat filtrasi larutan HA 5 ppm dan 25 ppm tanpa dan dengan injeksi ozon menunjukkan peningkatan J/J_0 yang tidak signifikan dan relatif kecil, dimana pada titik terakhir di menit ke-120, HA 5 ppm tanpa injeksi menunjukkan angka 0,497 dan HA 5 ppm dengan injeksi ozon menunjukkan angka 0,58. Sedangkan pada konsentrasi 25 ppm, J/J_0 HA 25 ppm tanpa injeksi ozon menunjukkan angka 0,25 dan HA 25 ppm dengan injeksi ozon menunjukkan angka sebesar 0,278 [14]. Rejeksi pada larutan HA yang diinjeksi ozon mengalami penurunan yang cukup banyak dari larutan yang tidak diinjeksi ozon. Terjadinya penurunan yang drastis pada Rejeksi filtrasi HA dengan injeksi ozon disebabkan karena hilangnya kearomatisan dan terjadi depolimerisasi, yang disebabkan oleh perubahan struktur yg substansial, pengurangan fraksi molekul berat, dan peningkatan fungsi karboksilat pada humic acid akibat injeksi ozon.[15]

Karakteristik Penurunan Flux Campuran Ion dengan injeksi ozon

Penurunan flux pada larutan HA 25 ppm campuran ion dengan injeksi ozon diperlihatkan pada gambar berikut. Ion yang dipakai sama seperti diatas, yaitu $CaCl_2$, $CaSO_4$, dan $MgSO_4$.



Gambar 8 Perbandingan flux filtrasi HA 25 ppm + ozonisasi dengan Flux HA 25 ppm campuran ion + ozonisasi

HA 25 ppm menunjukkan penurunan flux yang lebih lambat dibandingkan dengan larutan HA 25 ppm campuran yang lainnya hingga menit ke-30, pada titik berikutnya yaitu pada menit ke-60, nilai J/J_w HA 25 ppm 0,33, lebih rendah daripada J/J_w HA 25 ppm+ $CaCl_2$ yang menunjukkan angka 0,363. Nilai J/J_w HA 25 ppm tetap pada posisi lebih rendah dibanding J/J_w HA 25 ppm+ $CaCl_2$ pada titik terakhir di menit ke-120, yaitu 0,278 lebih rendah dibanding J/J_w HA 25 ppm+ $CaCl_2$ yang menunjukkan angka 0,315. Meskipun begitu penurunan flux HA 25 ppm murni masih lebih lambat dibandingkan penurunan flux HA 25 ppm+ $MgSO_4$ dan HA 25 ppm+ $CaSO_4$, dimana J/J_w HA 25 ppm murni pada titik terakhir di menit ke-120 menunjukkan angka 0,278, sedangkan HA 25 ppm+ $MgSO_4$ dan HA 25 ppm+ $CaSO_4$ menunjukkan angka 0,233 dan 0,266.

Rejeksi yang rendah disebabkan karena hilangnya kearomatisan dan terjadi depolimerisasi, yang disebabkan oleh perubahan struktur yg substansial, pengurangan fraksi molekul berat, dan peningkatan fungsi karboksilat pada humic acid akibat adanya injeksi ozon.[15] Rejeksi yang paling tinggi ditunjukkan oleh HA 25 ppm+ $CaCl_2$ yaitu 0,181, sedangkan yang paling rendah ditunjukkan oleh HA 25 ppm+ $MgSO_4$ yaitu 0,054.

Kesimpulan

Dari pembahasan diatas, kesimpulan berikut dapat diambil. Penurunan fluks yang cepat terjadi pada 5 menit awal percobaan kemudian menurun secara perlahan setelah menit ke-15. Untuk perbandingan penurunan flux pada konsentrasi larutan HA yang berbeda, semakin tinggi konsentrasi HA maka penurunan fluxnya akan semakin cepat, dengan J/J_w HA 5 ppm pada menit ke-120 mencapai angka 0,49 dan J/J_w HA 25 ppm pada angka 0,25. Pada perbandingan berdasarkan campuran ion, penambahan ion memperlambat penurunan flux, dimana HA 25 ppm+ $CaSO_4$ merupakan campuran yang paling lambat mengalami penurunan flux yaitu pada angka 0,71. Selanjutnya untuk perbandingan berdasarkan tekanan, semakin tinggi tekanan maka penurunan flux akan semakin cepat. Sedangkan untuk perbandingan berdasarkan pH, penurunan flux akan semakin kecil seiring dengan peningkatan pH. Pada penambahan injeksi ozon, terlihat bahwa penambahan ozon tidak memberikan perubahan signifikan terhadap penurunan flux dimana pada menit ke-120 sebelum diinjeksikan ozon mencapai angka 0,25 dan setelah injeksi ozon menjadi 0,278, tetapi sangat berpengaruh pada penurunan rejeksi.

Daftar Pustaka

- [1] Porter, Mark C., (1990) "Microfiltration" in Mark C, Porter (Editor), *Handbook of industrial membrane technology*, Noyes Publication, New Jersey USA, Hal. 61-62
- [2] Crittenden, John. , (2005), "*Water Treatment Principles and Design Edition 2*". John Wiley and Sons. New Jersey USA.
- [3] Dow Chemical Company. "*FILMTECH™ Reverse Osmosis Membranes : Technical Manual*" . Dow Chemical Company.Hal.10
- [4] Agustina Siti, Pudji.R, Sri, , Widiyanto, Tri, A Trisni. (2005) "Penggunaan Teknologi Membran Pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit." *Workshop Teknologi Industri Kimia dan Kemasan*.
- [5] Kwang, Ho Choo, (2005), "Iron and manganese removal and membrane fouling during UF in conjunction with prechlorination for drinking water treatment". *Journal of Membrane Science* 267, Hal. 18–26 [6] Stevenson, F.J., (1994). "*Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*". John Wiley & Sons, New York, USA.
- [7] S. Thongsathit, C. Flood and R. (W.) Kiattikomol, (2007), "Humic acid separation from water using clay membranes". *Proc. 6th International Groundwater Quality Conference held in Fremantle, Western Australia, December 2007. IAHS Publ. 324, 2008*, Hal. 280–286.
- [8] Hartomo, A.J., Widiatmoko, M.C., (1994), "Teknologi Membran Pemurnian Air, Edisi pertama", Yogyakarta, Andi Offset.
- [9] Yuan, Wei and Zydney, Andrew L, (2002). "Humic Acid Fouling During Ultrafiltration" . *Preprints of Extended Abstract Vol.40 No.2 Membrane Separation Processes In Aquatic Systems* hal. 284-285
- [10] Mattheus F.A. Goosen, S.S. Sablani, and R. Roque-Malherbe,(2009), "Membrane Fouling: Recent Strategies and Methodologies for Its Minimization" in Anil K. Pabby, Syed S. H. Rizvi, Ana Maria Sastre (Editors) . *Handbook of Membrane Separation Chemical, Pharmaceutical, Food and Biotechnological Applications*, CRC Press Taylor and Francis Group. Hal.329-330
- [11] Tipping, E (1994). "'WHAM - a chemical equilibrium model and computer code for waters, sediments, and soils incorporating a discrete site/electrostatic model of ion-binding by humic substances". *Computers and Geosciences* 20: Hal.973–1023
- [12] Mulder, M., (1996), "*Basic Principles of Membrane Technology 2nd ed*", Netherlands, Kluwer Academic Publishers, Hal. 418.
- [13] Susilawati, (2010). "Model pengolahan air gambut untuk Menghasilkan air bersih dengan Metode elektrokoagulasi", *Disertasi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [14] Park, Y.G., (2002), "Effect of ozonation for reducing membrane-fouling in the UF membrane.", *Desalination* 147, Hal.43-48.
- [15] Tomaszewska, Maria, Sereżyńska-Sobecka, Bożena, W. Morawski, Antoni. (2006) . "Removal of humic acids by the ozonation–biofiltration process". *Desalination* 198, Hal. 265–273.