

Klasifikasi dan Permeabilitas Membran Keramik Tubular Berbasis Zeolit Dan Variasi Clay-Karbon Aktif Berdasarkan Fluks, Permeabilitas Membran dan Koefisien Rejeksi Ion Fe dan Ion Mn dalam Air Tanah

E.Elifiana¹, Ridwan², Muhammad Sami³, Syarifah Keumala Intan⁴, Cut Aja Raahmahwati⁵

^{1,2,3,5}Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁴Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

elfiana@pnl.ac.id (penulis korespondensi)*

Abstrak—Fenomena kemerosotan sumber daya air menjadi target dalam penelitian ini untuk menerapkan teknologi membran dalam mengolah air tanah berdasarkan parameter penurunan konsentrasi ion besi (Fe) dan ion mangan (Mn). Penelitian ini membuat membran berbasis zeolit 10% sebagai basis sedangkan variasi clay 30-70% dan karbon aktif 5-45%, sedangkan semen Portland putih 10% dan PVA 5% digunakan sebagai perekat anorganik dan organik. Pembuatan membran menggunakan metode sintering pada suhu 800°C menjadi membran keramik tubular. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui klasifikasi membran berdasarkan uji fluks dan permeabilitas membran serta menentukan permeabilitas membran berdasarkan koefisien rejeksi (%R) yang lebih baik dalam kemampuannya menyisihkan ion Fe dan ion Mn dalam air tanah secara *cross flow filtration* pada berbagai variasi tekanan 0,5-2 bar selama 15 menit. Hasil penelitian menunjukkan membran keramik tubular yang dihasilkan terklasifikasi membran mikrofiltrasi dengan fluks membran 200-500 L/m².jam, dan permeabilitas membran 150-750 L/m².jam.bar, koefisien rejeksi ion Fe (%R_{Fe}) diperoleh 83,78%, dan koefisien rejeksi ion Mn (%R_{Mn}) diperoleh 90,40%. Permeabilitas membran lebih selektif terhadap ion Mn dibanding ion Fe. Komposisi membran terbaik merupakan campuran zeolit 10%, clay 50%, karbon aktif 25%, semen Portland putih 10% dan PVA 5%.

Kata kunci— Fluks membran, koefisien rejeksi ion Fe dan ion Mn, membran keramik tubular, permeabilitas membran

Abstract—The phenomenon of decreasing resource quality is the target in this study to apply membrane technology in groundwater treatment based on decreasing the concentration of iron ion (Fe) and concentration of manganese ion (Mn). The membrane was made of 10% zeolite as a base, while clay was varied from 30-70% and activated carbon 5-45%, while white portland cement was 10% and PVA 5%, and was used as an adhesive. The membrane was made by sintering at a temperature of 800 C into a tubular ceramic membrane. This study aims to determine the classification of membranes based on membrane flux and permeability and to see the selectivity of the membrane based on the rejection coefficient (% R) which is better at removing Fe and Mn ions in groundwater by cross-flow filtration at various pressures from 0,5 to 2 bars for 15 minutes. The results showed that the resulting tubular ceramic membrane was classified as a microfiltration membrane with a membrane flux of 200-500 L / m².hr, and a membrane permeability of 150-750 L / m².hr.bar, the ion rejection coefficient of Fe (% R_{Fe}) was 83, 78.%, and % R_{Mn} is 90.40%. Permeability membrane is more selective towards Mn ion than Fe ion. The best membrane composition is a mixture of 10% zeolite, 50% clay, 25% activated carbon, 10% white Portland cement and 5% PVA.

Keywords—Flux membrane, membrane permeability, rejection coefficient of Fe and Mn ions, tubular ceramic membrane

I. PENDAHULUAN

Air tanah adalah air yang berada di dalam lapisan tanah baik yang dekat dengan permukaan tanah (disebut Freatis atau sumur dangkal) sampai dengan yang jauh dari permukaan tanah berada diantara dua lapisan kedap air (disebut Artesis atau sumur dalam). Adanya kegiatan pengelolaan air tanah dikarenakan kebutuhan air bersih tidak terpenuhi oleh PDAM di suatu wilayah tertentu. Perlindungan hukum terhadap kegiatan pengelolaan air tanah diatur dalam Undang-Undang Nomor 7 tahun 2004. [1].

Persyaratan kualitas air tanah dibakukan berdasarkan penggunaannya, seperti untuk air minum, air bersih, irigasi, atau industri. Air tanah mengandung 1,0-1000 mg/l unsur utama seperti mineral kesadahan, mengandung unsur sekunder 0,01-10 mg/l seperti ion besi (Fe), dan mengandung unsur minor 0,0001-0,1 mg/l logam berat seperti ion mangan. [1]

Air tanah secara visual mula-mula terlihat bersih tetapi seketika berubah menjadi kuning kecoklatan ketika berkontak dengan udara, disebabkan adanya kandungan ion besi dan mangan. Terkadang juga berasa tawar karena salinitas dan kesadahan yang tinggi. Kasus seperti ini sering terjadi pada air tanah Freatis di daerah pesisir pantai dan berawa. Jika tidak dilakukan pengolahan, air tersebut dapat berdampak terhadap kesehatan dan lingkungan, misalnya dinding bak berwarna kuning serta bercak kuning pada pakaian. Konsentrasi maksimal ion Fe dan Mn dalam air bersih (hygiene sanitasi) menurut PP No.32 Tahun 2017 adalah 1 mg/L Fe dan 0,5 mg/L Mn. [2], sedangkan dalam air minum menurut PERMENKES RI No.492/MENKES/PER/IV/2010 adalah 0,3 mg/L Fe dan 0,4 mg/L Mn. [3]. Oleh sebab itu pengolahan air tanah diupayakan memenuhi standar kualitas sesuai penggunaannya. Salah satu proses tersebut adalah teknologi membran keramik tubular disebut juga membrane berpori. [4].

Penelitian sebelumnya memperoleh ukuran pori membran 1,2 μm dari membran berbahan campuran zeolit, tanah lempung, semen portland putih dan PVA disintering pada suhu 500-7000C dan terbaik pada suhu 700⁰C. Pada setiap variasi komposisi yang digunakan diperoleh semakin tinggi suhu sinterring semakin kecil ukuran pori [5]. Penelitian lainnya menggunakan campuran zeolit 70%, clay 10%, dan karbon aktif 20% mendapatkan permselektivitas membran 49,59% ion Fe dan ion Mn 56,21% [6].

Penelitian ini dilakukan dengan memformulasikan variasi clay dan karbon aktif berbasis zeolit dan menggunakan semen Portland putih (CW) dan polyvinyl alcohol (PVA) sebagai perekat pada jumlah tetap bertujuan untuk mendapatkan struktur membran yang kompak dan menyatu saat disinterring pada suhu 800⁰C. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui klasifikasi membran berdasarkan uji fluks dan permeabilitas membran serta menentukan permselektifitas membran berdasarkan koefisien rejeksi (%R) yang lebih baik dalam kemampuannya menyisahkan ion Fe dan ion Mn dalam air tanah secara cross flow filtration pada berbagai variasi tekanan 0,5-2 bar selama 15 menit.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan secara rinci tentang penelitian yang dilakukan.

A. Waktu dan Tempat

Penelitian direncanakan dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Air dan Limbah, Pilot Plant, Laboratorium Kimia Analitik dan Laboratorium Pengujian jurusan Teknik Kimia.

B. Alat dan Bahan

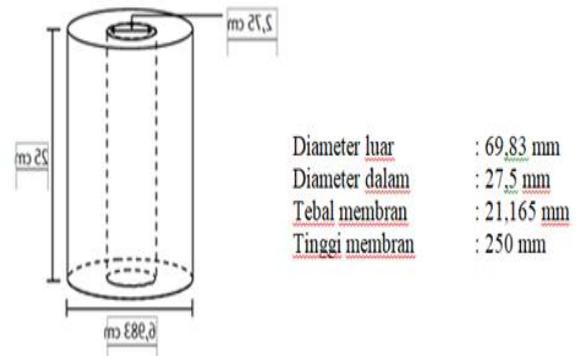
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: air tanah, zeolit, clay, karbon aktif, semen portland putih, PVA, reagen untuk analisa Fe dan Mn, aquades dan kertas lakmus universal.

Peralatan yang digunakan chrusser, ayakan, timbangan, oven, furnace, Atomic Absorption Sepectroscopy (AAS), TDS meter, cetakan membran tubular, prototipe teknologi membran keramik tipe tubular.

C. Spesifikasi cetakan membran tubular dan bagan alir proses

Cetakan membran tubular yang digunakan berupa silinder berlubang di bagian tengah terbuat dari alumunium, besi dan plastik fiber padu dengan

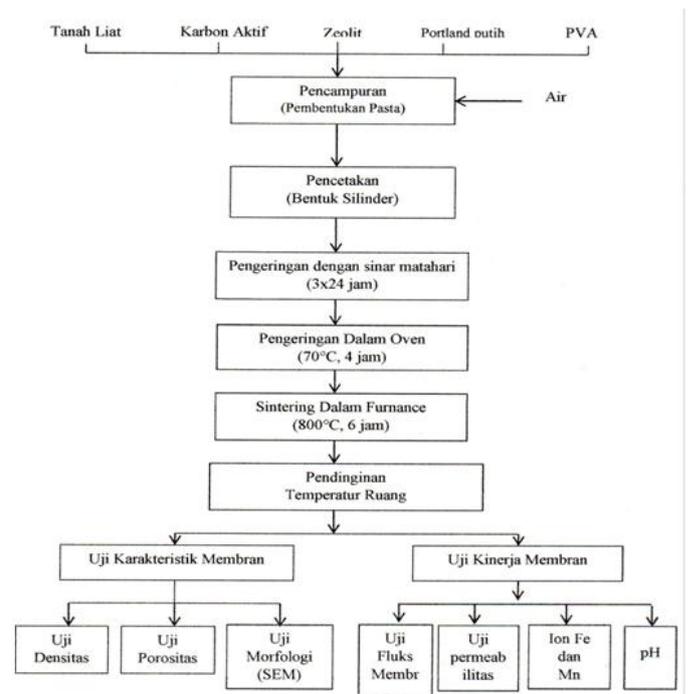
spesifikasi seperti gambar 1 dan skema prototype pengolahan air menggunakan membran keramik tubular ditunjukkan dalam Gambar 3.



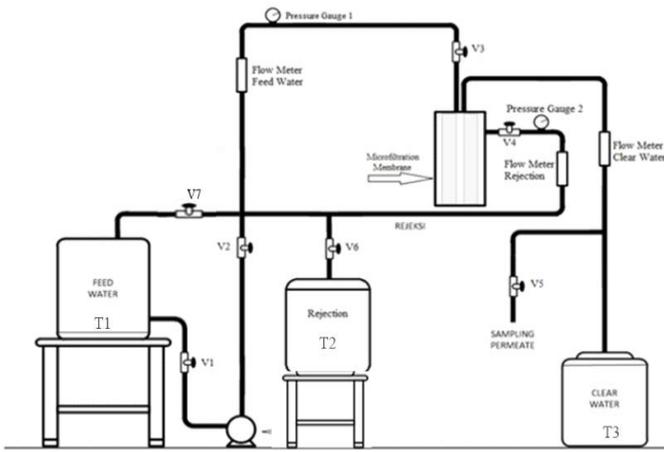
Gambar 1. Spesifikasi membran tubular[7]

TABEL I
VARIABEL PENELITIAN

Inisial	Komposisi (%)				
	Zeolit	Clay (CL)	Karbon Aktif (CA)	Semen Portland (CW)	PVA
M1	10	70	5	10	5
M2	10	60	15	10	5
M3	10	50	25	10	5
M4	10	40	35	10	5
M5	10	30	45	10	5



Gambar 2. Bagan alir proses pembuatan membrane keramik tubular



Gambar 3. Skema rangkaian prototipe alat teknologi membran keramik tubular yang digunakan [5]

Adapun prosedur pengoperasian prototype seperti Gambar 3 adalah sebagai berikut

- Membran M1, M2, M3, M4 atau M5 dimasukkan kedalam housing membran dan diinstalansikan kedalam rangkaian peralatan.
- Periksa valve seluruhnya dalam keadaan tertutup.
- Air tanah yang telah dikarakterisasi dimasukkan kedalam tangki feed water sampai tanda batas 21 L.
- Pompa dihidupkan, dan buka keran V1 (valve inlet pipa), biarkan hingga pompa stabil.
- Kemudian diatur variasi tekanan pada 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0 bar.
- Pengoperasian dilakukan selama 15 menit untuk semua variasi tekanan, dan perubahan konsentrasi ion Fe, Mn dan pH diamati pada aliran permeate.
- Kinerja membran dihitung berdasarkan fluks dan permealitas membran berdasarkan nilai koefisien rejeksi (%R) parameter ion Fe dan Mn yang diperoleh setiap variasi tekanan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui kinerja membran keramik tubular yang dihasilkan maka akan dilihat bagaimana pengaruh tekanan terhadap fluks membran (J_v), permeabilitas membrane (Q_p) dan koefisien rejeksi membran (%R) dari setiap komposisi bahan membran. Fluks menyatakan jumlah permeate yang mampu melewati luas permukaan membran, sedangkan permeabilitas membran merupakan laju alir permeate yang melewati membran dengan adanya gaya dorong berupa tekanan. Sedangkan permealitas digambarkan dengan koefisien rejeksi membran

(%R) yang menyatakan ukuran kemampuan membran keramik tubular menahan suatu spesi atau melewati suatu spesi tertentu, dinyatakan dengan persamaan 1[7].

$$\%R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \quad (1)$$

dimana

- %R adalah koefisien rejeksi
- C_p adalah konsentrasi zat terlarut pada permeate
- C_f adalah konsentrasi zat terlarut pada umpan

D. Pengaruh Tekanan Terhadap Fluks Membran Dan Permealitas Membran

Pengukuran fluks membran dilakukan dengan melewatkan air kedalam housing berisi membran pada tekanan 0,5 – 2,0 bar selama 15 menit. Jumlah air yang tertampung pada aliran permeate diukur dan besarnya fluks membran dan permeabilitas membran dapat dihitung menggunakan persamaan 2[7] dan 3[8] berikut.

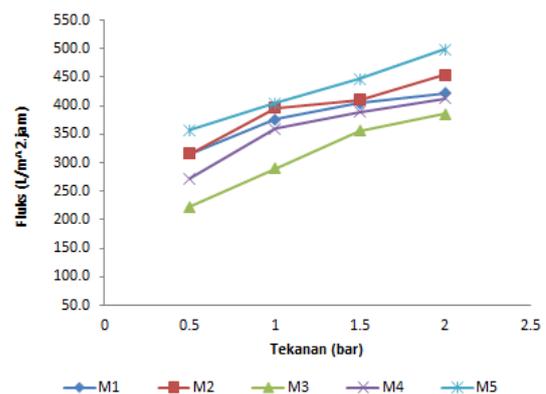
$$J_v = \frac{V}{A \times t} \quad (2)$$

$$Q_p = \frac{J_v}{\Delta p} \quad (3)$$

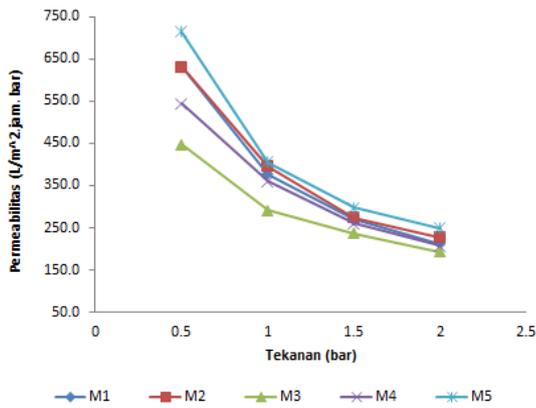
dimana :

- J_v adalah fluks membran, $L/m^2 \cdot jam$
- Q_p adalah permeabilitas membran, $L/m^2 \cdot jam \cdot bar$
- V adalah volume permeate, L
- t adalah waktu pengoperasian, jam

Pengaruh tekanan terhadap fluks membran dan permeabilitas membran dari berbagai komposisi bahan membran diperlihatkan dalam Grafik 4 dan 5 berikut.



Gambar 4. Pengaruh tekanan terhadap fluks membran pada berbagai variasi komposisi membran



Gambar 5. Pengaruh tekanan terhadap permeabilitas membran pada berbagai variasi komposisi membran

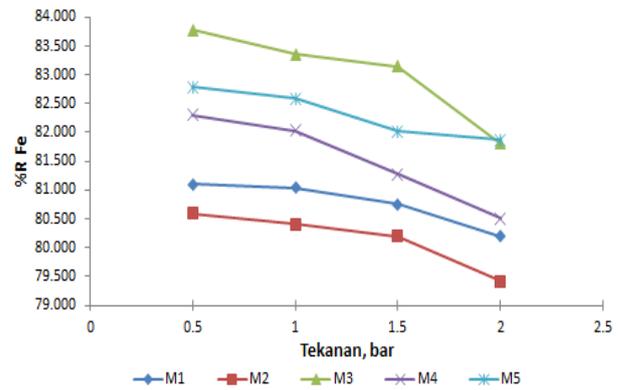
Dari grafik 4 dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan semakin besar fluks yang diperoleh untuk semua variasi komposisi bahan. Hal ini disebabkan karena tekanan merupakan gaya dorong yang diberikan untuk melewati semua spesies yang berukuran lebih kecil dari pori membrane, sehingga semakin besar tekanan semakin besar gaya dorong semakin besar jumlah spesies yang terlewatkan tertampung dalam aliran permeat. Dari grafik terlihat fluks terbesar 498,30 L/m².jam pada komposisi membran M5 dan fluks terkecil 223,38 L/m².jam pada komposisi membrane M3. Untuk semua variasi komposisi membran menghasilkan fluks > 50 L/m².jam merupakan membran terklasifikasi membran mikrofiltrasi.

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan semakin kecil permeabilitas membran untuk setiap variasi komposisi bahan. Hal ini disebabkan permeabilitas membran merupakan laju alir permeat yang melewati luas permukaan membran berbanding terbalik dengan gaya dorong dari tekanan yang diberikan. Sehingga semakin besar tekanan semakin besar fluks semakin kecil permeabilitas membran. Permeabilitas membran terbesar 714,10 L/m².jam.bar pada komposisi membran M5 dan tekanan 2 bar. Permeabilitas membran terkecil 192,96 L/m².jam.bar pada komposisi membrane M3 dan tekanan 0,5 bar.

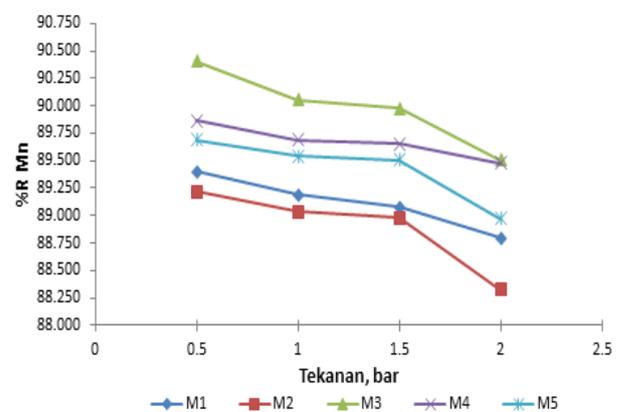
E. Pengaruh Tekanan Terhadap Permselectifitas Membran

Permselectifitas membran digambarkan dengan koefisien rejeksi (%R) membran, menyatakan ukuran kemampuan membran keramik menahan suatu spesi atau melewati suatu spesi tertentu. Dalam hal ini adalah spesi ion Fe dan ion Mn yang terkandung dalam air tanah. Faktor yang mempengaruhi selektifitas adalah besarnya ukuran partikel yang akan melewatinya, interaksi antara

membran, larutan umpan dan ukuran pori membran. Koefisien rejeksi (%R) yang menggambarkan permselectifitas membran merupakan fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran. Nilai R bervariasi antara 0 – 100%, dimana R 100% artinya terjadi pemisahan sempurna, dalam hal ini membran semipermeabel ideal, sedangkan nilai R 0% berarti semua partikel lolos dari membran[9]. Suatu fenomena umum yang sering terjadi dalam suatu proses pemisahan dengan membran, yaitu apabila fluks membran yang dihasilkan besar maka permselectifitas membran rendah, demikian pula fluks yang dihasilkan rendah maka permselectifitas membran tinggi. sebaliknya jika permselectifitas tinggi maka fluks juga akan rendah. Hasil permselectifitas membran berdasarkan koefisien rejeksi ion Fe dan Mn ditunjukkan dalam gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Pengaruh tekanan terhadap koefisien rejeksi ion Fe air tanah pada variasi komposisi membran



Gambar 7. Pengaruh tekanan terhadap koefisien rejeksi ion Mn air tanah pada variasi komposisi membran

Dari grafik pada gambar 6 dan 7 dapat dilihat bahwa koefisien rejeksi untuk ion Fe (%R_{Fe}) dan ion Mn (%R_{Mn}) terbesar adalah pada tekanan 0,5 bar untuk setiap variasi komposisi membran. Semakin kecil tekanan semakin kecil gaya dorong

maka makin sedikit jumlah ion Fe dan ion Mn yang mampu melewati pori membran dan semakin besar pula jumlah ion Fe dan ion Mn yang tertahan pada membran dan terijek menjadi aliran konsentrat dengan ion Fe dan ion Mn pada aliran retented. Hal ini menyebabkan jumlah ion Fe dan ion Mn pada aliran permeat sedikit dan menyebabkan koefisien rejeksi ion Fe dan ion Mn menjadi tinggi. Semakin sedikit jumlah ion Fe dan ion Mn pada permeat maka semakin besar koefisien rejeksi yang dihasilkan berindikasi semakin baik kinerja membran. Dalam hal ini konsentrasi ion Fe dalam air tanah mula-mula adalah 1,84 mg/L dan konsentrasi ion Mn adalah 1,36 mg/L.

Hasil percobaan dengan melewati air tanah ke luas permukaan membran M1, M2, M3, M4 dan M5 secara cross flow filtration pada variasi tekanan 0,5-2 bar selama 15 menit, terbaik pada tekanan 0,5 bar. Pada tekanan 0,5 bar dengan waktu pengoperasian selama 15 menit maka diperoleh koefisien rejeksi ion Fe terbesar 83,78% dan koefisien rejeksi ion Mn terbesar 90,40% yaitu pada membran M3, sedangkan koefisien rejeksi ion Fe terkecil 80,59% dan koefisien rejeksi ion Mn terkecil 89,92% yaitu pada membran M2. Hal ini menunjukkan komposisi membran terbaik adalah pada M3 yang dapat dioperasikan pada tekanan 0,5 bar.

Membran M3 merupakan membran yang terdiri dari campuran bahan zeolit 10%, clay 50%, karbon aktif 25%, semen Portland putih 10% dan PVA 5%. Sedangkan membran M2 terdiri dari campuran bahan zeolite 10%, clay 60%, karbon aktif 15%, semen Portland putih 10% dan PVA 5%. Berdasarkan komposisi ini terlihat jumlah clay sangat berpengaruh terhadap koefisien rejeksi kedua ion Fe dan ion Mn, dan optimum pada komposisi clay 50% dan karbon aktif 25%. Jika jumlah karbon aktif tidak cukup maka koefisien rejeksi menjadi kecil dan jika terlalu berlebih jumlah clay dan jumlah karbon aktif kurang maka koefisien rejeksi kecil. Hal ini menunjukkan karbon aktif dan zeolit mempunyai kemampuan menyerap ion logam pada jumlahnya. Berdasarkan nilai koefisien rejeksi ion Fe dan Mn yang diperoleh menunjukkan membran M3 lebih selektif terhadap penghilangan ion Mn dibanding ion Fe. Akan tetapi perlu dilakukan waktu penyaringan yang lebih lama untuk mendapatkan nilai koefisien rejeksi kedua ion Fe dan ion Mn menjadi lebih maksimal.

F. Klasifikasi Membran Keramik Mikrofiltrasi berdasarkan Fluks dan Permeabilitas Membran yang Dihasilkan

Mikrofiltrasi merupakan pemisahan partikel berukuran micron atau submicron. Bentuknya lazim berupa cartridge berbentuk tubular, gunanya untuk menghilangkan partikel dari air yang berukuran 0,04 sampai 100 mikron. Asalkan kandungan padatan total terlarut tidak melebihi 100 ppm. Pada proses filtrasi cartridge merupakan filtrasi mutlak, artinya partikel padat akan tertahan. Membran keramik dapat diklasifikasikan dalam kategori membran mikrofiltrasi berdasarkan tekanan operasi, fluks membran dan permeabilitas membran. Membran mikrofiltrasi memiliki spesifikasi driving force tekanan <2 bar, fluks membran >40 L/m².jam, dan permeabilitas membran > 50 L/m².jam.bar[10].

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh membran dapat dioperasikan pada tekanan 0,5-2 bar; fluks membran yang dihasilkan 200-500 L/m².jam, dan permeabilitas membran 150-750 50 L/m².jam.bar. Berdasarkan hasil nilai fluks dan permeabilitas membran yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa membran M1, M2, M3, M4, dan M5 terklasifikasi dalam membran mikrofiltrasi yang diprediksi memperoleh ukuran pori 0,1 – 10 µm dan porositas >40%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa membran keramik tubular berbasis zeolit dan variasi clay-karbon aktif menggunakan perekat semen Portland putih dan PVA terklasifikasi sebagai membran mikrofiltrasi yang memiliki kinerja fluks membran 200-500 L/m².jam, dan permeabilitas membran 150-750 50 L/m².jam.bar, koefisien rejeksi ion Fe (%R_{Fe}) diperoleh 83,78%, dan koefisien rejeksi ion Mn (%R_{Mn}) diperoleh 90,40%. Permeabilitas membran lebih selektif terhadap ion Mn dibanding ion Fe.

Berdasarkan nilai koefisien rejeksi ion Fe dan ion Mn yang diperoleh maka membran M3 merupakan membran yang memiliki komposisi paling baik dalam menghilangkan logam Fe dan Mn, dimana campuran bahan membran terdiri dari zeolit 10%, clay 50%, karbon aktif 25%, semen Portland putih 10% dan PVA 5%.

REFERENSI

- [1] Maria Christine Sutandi, "Air Tanah," *Fak. Tek. Jur. Tek. Sipil Univ. Kristen Maranatha Bandung*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2012.

- [2] Menteri Kesehatan Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum,” *Peratur. Menteri Kesehat. Republik Indones.*, pp. 17–20, 2017.
- [3] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010, “Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum,” *Peraturan Mentri Kesehatan Republik Indonesia*. p. MENKES, 2010.
- [4] M. Mulder, “Basic Principles of Membrane Technology, 2nd EdKluwer Academic Publishers,” *Boston, MA*, 1996.
- [5] Elfiana, A. Fuadi, and S. Diana, “Effectiveness of inorganic membrane mixture of natural zeolite and portland white cement in purifying of peat water based on turbidity parameter,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 345, no. 1, 2018.
- [6] J. A. J. Ginting, A. S. Budi, and E. Budi, “Seminar Nasional Fisika 2012 PENURUNAN KADAR FE DAN MN PADA AIR TANAH DAERAH BEKASI Seminar Nasional Fisika 2012,” pp. 72–75, 2012.
- [7] E. Elfiana, S. Diana, A. Fuadi, and R. Fauzan, “Characterization Study of Inorganic Hybrid Membrane of Mixed Activated Zeolite and Clay with PVA Adhesives using Sintering Method for colourless Peat Water,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 536, no. 1, 2019.
- [8] S. Diana, R. Fauzan, N. Arahman, F. Razi, and M. R. Bilad, “Synthesis and characterization of ceramic membrane from fly ash and clay prepared by sintering method at low temperature,” *Rasayan J. Chem.*, vol. 13, no. 3, pp. 1335–1341, 2020.
- [9] R. W. BAKER, *Membrane Technology*, Third Edit. Newark, California: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2012.
- [10] E. Elfiana, M. Sami, S. K. Intan, A. Fuadi, and A. H. Salam, “Studi Karakterisasi dan Selektifitas Membran Mikrofilter Berbahan Dasar Clay-Zeolit Teraktivasi Asam-Basa Berdasarkan Parameter Senyawa Organik Air Gambut A x t,” vol. 3, no. 1, pp. 129–133, 2019.