

PENGARUH pH AIR GAMBUT TERHADAP FOULING MEMBRAN ULTRAFILTRASI

Nani Herwati, Mahmud dan Chairul Abdi

*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat,
Jl. A.Yani Km. 36,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia
E-mail: naniherwati17@gmail.com*

ABSTRAK

Penggunaan membran ultrafiltrasi (UF) sebagai sistem pemisahan memiliki kekurangan yaitu terjadinya fouling pada membran akibat adanya bahan-bahan utama dalam air gambut, yaitu kontaminan biologis dan senyawa makromolekul. Salah satu penyebab fouling terbesar adalah pH air gambut yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh harga pH terhadap kinerja membran ultrafiltrasi dan pengaruhnya terhadap fouling membran ultrafiltrasi. Penentuan pengaruh pH terhadap fouling membran dilakukan dengan pengukuran fluks masing-masing pH, serta pengujian UV₂₅₄ yang merupakan pengukuran terhadap kandungan Bahan Organik Alami (BOA), dan menguji perbandingan nilai ukuran molekul air gambut dengan nilai berat molekul air gambut yang dinyatakan dengan rasio E₄/E₆. Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh pH air gambut terhadap fouling membran ultrafiltrasi. Total fluks terendah dihasilkan pada pH 4, sedangkan yang tertinggi pada pH 6. Persen penyisihan BOA paling besar adalah pada pH 3 dan terendah pada pH 7. Rasio E₄/E₆ tertinggi berada pada pH 7 yang mengindikasikan bahwa permeat yang dihasilkan hanya di dominasi oleh BOA dengan ukuran molekul kecil. Pada pH yang semakin rendah, rasio E₄/E₆ semakin menurun yang mengindikasikan bahwa pada pH rendah masih banyak terdapat molekul dengan ukuran besar.

Kata kunci: ultrafiltrasi, fouling, pH, air gambut, Bahan Organik Alami

ABSTRACT

Ultrafiltration (UF) membrane using as separation system have some of lack, that is fouling occur on membrane because of prime matters in peatwater, that is biological contaminant and macromolecul compound. One of the biggest cause of fouling is the peatwater that have low pH. The purpose of this research is to determine the effect of pH toward ultrafiltration membrane performance and the effect to ultrafiltration membrane fouling. The act of determining effect of pH on membrane fouling is measuring flux of each pH and measuring UV₂₅₄ that measure Natural Organic Matter (NOM) on water, and examine comparison of molecul size in peatwater with molecul weight in peat water that express with E₄/E₆ ratio. The research about effect of water peat pH on ultrafiltration membrane fouling was investigate. The lowest flux total is on pH 4 and the highest is on pH 6. The highest percent of NOM elimination is on pH 3 and the lowest is on pH 7. The highest E₄/E₆ ratio is on pH 7 that indicate the permeate is dominate molecul NOM with small size. At the lower pH, E₄/E₆ ratio more go down that indicate on lower pH is still have molecul with big size.

Keywords: Ultrafiltration, fouling, pH, peat water, Natural Organic Matter

1. PENDAHULUAN

Air gambut adalah air permukaan yang banyak terdapat di daerah berawa atau daratan rendah terutama di Sumatera dan Kalimantan, yang mempunyai ciri-ciri meliputi: intensitas warna yang tinggi, pH rendah, kandungan zat organik tinggi, keruh, konsentrasi partikel dan kation rendah (Syarfi, 2007). Intensitas warna tinggi merupakan salah satu ciri khas air gambut yang merupakan akibat dari tingginya kandungan zat organik yang terlarut, terutama dalam bentuk asam humus. Zat organik yang menyebabkan warna tersebut berasal dari komposisi bahan organik seperti daun, pohon, dan kayu dengan berbagai tingkat dekomposisi (Notodarmojo, 1994). Kandungan organik yang banyak terdapat dalam air tanah dan permukaan terdiri dari bahan humus. Bahan humus dibagi dalam tiga fraksi utama yang meliputi asam humus yang bersifat *soluble* dalam larutan alkali tetapi tidak *soluble* (terjadi presipitat) dan $\text{pH} < 2$, asam fulvat yang bersifat *soluble* baik pada kondisi asam maupun basa dengan berat molekul (BM) yang lebih kecil (Yuan dan Andrew, 1999).

Pengolahan konvensional yang berbasis pada teknologi konvensional seperti koagulasi-flokulasi, sedimentasi dan filtrasi konvensional sering kali kurang efektif atau gagal untuk mengolah dengan hasil sesuai dengan baku mutu yang diharapkan. Untuk itu diperlukan teknologi alternatif untuk mengolah air baku tersebut. Membran UF diduga mampu menurunkan parameter seperti zat organik dan kekeruhan, seperti yang dilakukan oleh Mahmud (2002) yang menggunakan membran ultrafiltrasi (UF) untuk menyisahkan konsentrasi senyawa organik dalam air gambut (Notodarmojo dan Anne, 2004).

Penerapan teknologi membran dalam pengolahan air minum semakin mendapat perhatian. Teknologi membran dikategorikan menjadi Mikrofiltrasi (MF), Ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi dan *Reverse Osmosis* (RO) berdasarkan pengurangan Berat Molekulnya. UF menjadi solusi optimal untuk mengganti pengolahan dalam memproduksi air minum secara konvensional (Dong, dkk. 2006).

Sistem aliran yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem aliran *dead-end*. Sistem ini dipilih mengingat kemudahan dalam pembuatan alat dan operasinya. Selain itu mengingat kontaminan yang akan dipisahkan terdapat dalam konsentrasi yang relatif rendah, maka sistem *dead-end* akan lebih menguntungkan dibanding sistem aliran *cross-flow* (Notodarmojo dan Anne, 2004).

Salah satu permasalahan dari sistem pemisahan dengan membran UF adalah terjadinya *fouling* pada membran akibat adanya kandungan bahan-bahan utama dalam air gambut, yaitu kontaminan biologis dan senyawa makromolekul. *Fouling* merupakan bahan organik yang terakumulasi pada permukaan membran karena tidak ikut ambil bagian dalam transfer massa. Akibat adanya *fouling* akan menyebabkan penurunan fluks dan efektivitas membran. Penelitian ini dipandang penting untuk dilakukan guna menguji performa membran UF dan menentukan hubungan variasi nilai pH air gambut terhadap kemampuan membran UF dalam merejeksi zat organik air gambut serta menentukan hubungan *fouling* yang terjadi pada membran UF terhadap perubahan nilai fluks. Kecepatan pembentukan dan pertumbuhan *fouling* ini pada umumnya bergantung pada sifat-sifat foulant dan larutannya, juga pada parameter pengoperasian membran seperti tekanan yang akan di uji dari 2-4 bar, air gambut yang diencerkan menggunakan akuades dengan persentase akuades 0%, 25% dan 50% dan serta pH air gambut yang di uji pada 3-7.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Costa, dkk (2006), Kecepatan fluks pada ukuran pori 10 nm menurun lebih cepat dibandingkan ukuran pori yang lebih rapat, yaitu 2 nm. Struktur

pembentukan layer *fouling* tergantung pada tekanan operasi. Pada tekanan yang tinggi, kepadatan dan rejeksi tertentu terhadap BOA (Bahan Organik Alami) sangat meningkat, sehingga mengakibatkan penurunan nilai fluks secara signifikan. Penelitian oleh Na pada tahun (2012) mendapatkan hasil bahwa pada kisaran nilai pH antara 6 sampai 9, *fouling* pada membran relatif rendah. Hasil penelitian oleh Notodarmojo dan Anne (2004) mengungkapkan bahwa membran UF dapat digunakan karena mempunyai prospek yang baik, sedangkan pengaruh *pretreatment* adalah untuk meningkatkan kualitas dan fluks dari permeat. Dong dkk. (2006) mengungkapkan bahwa dengan koagulasi sebagai pralakuan, penurunan nilai pH dapat meningkatkan rejeksi BOA pada koagulasi dan mengurangi konsentrasi BOA dalam air pada filtrasi membran, sehingga kemungkinan terjadinya *fouling* akan berkurang.

Tujuan-tujuan dalam penelitian pengaruh pH air gambut terhadap *fouling* membran UF adalah untuk menentukan pengaruh pH terhadap kinerja membran UF dan menentukan pengaruh pH terhadap *fouling* membran UF. Hipotesis yang didapatkan pada penelitian ini yaitu adanya pengaruh pH dan bahan organik pada air gambut terhadap kinerja membran UF dan adanya pengaruh variasi pH air gambut terhadap *fouling* membran UF.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat dan di Laboratorium Dasar Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat. Analisis SEM dilakukan di PPGL Bandung. Secara garis besar, penelitian dibagi menjadi dua bagian, yaitu : Bagian pertama penelitian, meliputi :

- Pengambilan sampel air gambut
Sampel air gambut yang digunakan dalam penelitian ini diambil di Gambut km. 17, Kalimantan Selatan.
- Karakterisasi Air Gambut
Sebelum digunakan sebagai sampel dalam penelitian, terlebih dahulu melakukan karakterisasi terhadap sampel air gambut. Karakterisasi sampel air gambut meliputi pengukuran terhadap pH, UV_{254} dan E_4/E_6 pada air gambut tersebut. Sampel air gambut yang digunakan dalam penelitian memiliki pH 4.80, nilai UV_{254} sebesar 1.861 cm^{-1} dan rasio E_4/E_6 sebesar 1.604 cm^{-1} .
- Persiapan bahan untuk membuat membran
Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan membran yaitu aseton, selulosa asetat, formamide, akuades serta alkohol.
- Pembuatan membran ultrafiltrasi
Membuat membran UF menjadi lapisan film di atas lembaran kaca. Pembuatan membran UF menggunakan 11% selulosa asetat, 30% dimetil formamide dan 59% aseton. Membrane yang telah dicetak kemudian direndam ke dalam larutan akuades.
- Karakterisasi Membran
Melakukan karakterisasi Membran UF dengan cara pengujian membran menggunakan akuades. Akuades dialirkan pada membran, hal ini bertujuan untuk melihat nilai permeabilitas membran. Karakterisasi membran yang kedua dilakukan dengan uji SEM untuk melihat bentuk dan ukuran pori membran.

Bagian kedua penelitian meliputi :

- Tahap awal proses filtrasi dengan membran UF Melakukan variasi tekanan operasi dari 2, 3 hingga 4 kg/cm^2 , dengan nilai pH 5 (diatur dengan menambahkan $\pm 2 \text{ ml NaOH } 0,05 \text{ N}$) dan

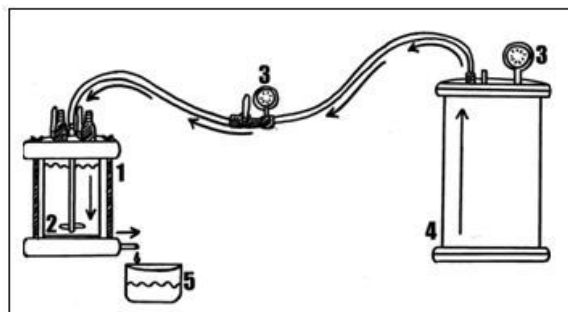
konsentrasi air gambut murni. Melakukan percobaan ini sebanyak 2 kali. Setelah diketahui nilai tekanan operasi yang terbaik yang didapatkan dari uji UV₂₅₄, maka dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu variasi pH air gambut.

- Melakukan variasi terhadap pH air gambut Variasi pH dengan nilai pH 3,4,5,6 dan 7. Untuk menaikkan pH air gambut, dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH 0,05 N pada sampel air gambut yang digunakan, dan untuk menurunkan pH air gambut, tambahkan HCl 0,1 N. Hasil yang ingin didapatkan dari percobaan ini adalah mengetahui pengaruh pH pada fluks dan terhadap persen penyisihan BOA pada air gambut dan mendapatkan nilai pH terbaik.
- Mengatur konsentrasi air gambut

Mengencerkan air gambut menggunakan akuades sehingga persentase akuades pada air gambut menjadi 25% dan 50%. Masing-masing variasi konsentrasi air gambut diujikan pada kondisi tekanan operasi terbaik dan pada pH terbaik.

2.1. Filtrasi dengan membran Ultrafiltrasi

Sistem aliran *dead end* untuk membran UF menggunakan alat-alat yang terbuat dari bahan stainless steel. Modul membran berbentuk lingkaran dengan luas efektif 12,5 cm². Pada bagian bawah dilengkapi dengan filter penyangga membran. Pada bagian filter penyangga diletakkan kertas saring sebagai support, untuk menjaga ketahanan dari lembaran membran. Untuk mencegah kebocoran pada sistem sel UF maka diatas membran ditekan dengan sebuah cincin karet (*O-ring*) (Notodarmojo dan Anne, 2004). Tangki air baku juga dibuat dari bahan stainless steel, diameter 14 cm dan tingginya 20 cm dengan volume total berkisar 2 liter, dan pada bagian atas dilengkapi dengan lubang inlet, lubang outlet, dan lubang untuk pemasangan alat ukur tekanan (*pressure gauge*) (Notodarmojo dan Anne, 2004).



Keterangan :

1. Alat Filter Membran
2. Modul Membran
3. Pressure Gauge
4. Tangki Tekanan
5. Gelas Ukur Permeat

Gambar 1. Skema peralatan operasi UF sistem *dead-end*

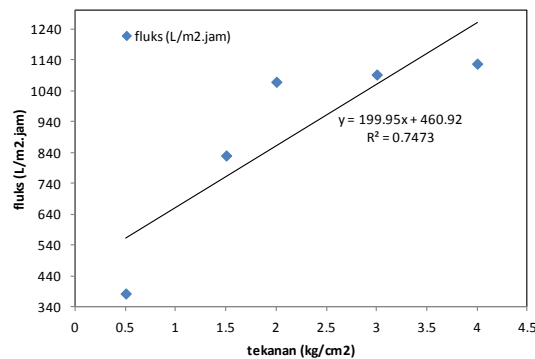
2.2. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Permukaan membran dikarakterisasi dengan SEM dengan cara sampel direkatkan dalam suatu silinder logam yang berdiameter 1 cm dengan menggunakan perekat ganda. Sampel tersebut kemudian dipreparasi dan dilapisi dengan logam emas dalam kondisi vakum. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya akumulasi listrik statis pada sampel. Sampel yang telah dipreparasi dimasukkan ke dalam instrumen lalu diatur dan difoto dengan perbesaran tertentu (Indriani, 2009).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Membran

Membran yang telah selesai dibuat kemudian direndam di dalam akuades selama 1 jam sebelum lembaran membran dipotong berbentuk lingkaran. Karakterisasi membran dilakukan dengan menguji permeabilitas (ukuran kecepatan dari suatu spesi atau konstituen menembus membran) (Notodarmojo dan Anne, 2004).



Gambar 2. Nilai permeabilitas membran

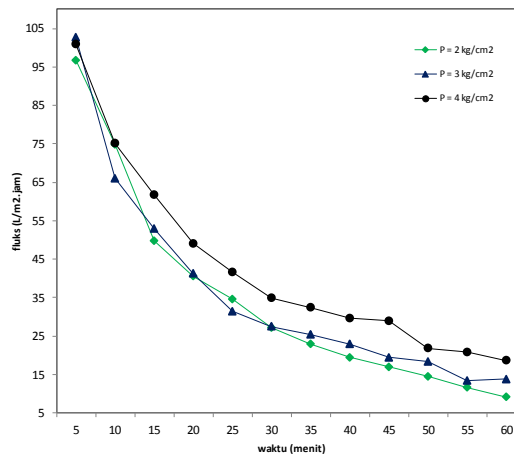
Pada Gambar 2 menunjukkan hasil uji permeabilitas akuades yang telah dilakukan pada beberapa variasi tekanan operasi. Total fluks pada tekanan 0,5 kg/cm² sebesar 382,73 L/m².jam, pada tekanan 1,5 kg/cm² sebesar 830,47 L/m².jam, pada tekanan 2 kg/cm² sebesar 1069,41 L/m².jam, pada tekanan 3 kg/cm² sebesar 1093,06 L/m².jam dan pada tekanan 4 kg/cm² sebesar 1128,35 L/m².jam. Permeabilitas membran merupakan gradien kemiringan kurva hubungan antara fluks (J) terhadap tekanan (P). Berdasarkan pengujian membran dengan menggunakan akuades yang dilakukan selama masing-masing 1 jam, didapatkan nilai permeabilitas membran sebesar 199,95 L/m².jam.kg/cm². Nilai permeabilitas membran menunjukkan kemampuan membran dalam melewatkan air.

Koefisien permeabilitas untuk membran jenis UF berada pada kisaran 0,5 m³/m².hari.bar (20 L/m².jam.bar) – 5 m³/m².hari.bar (200 L/m².jam.bar) (Wenten, 1999). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh I Gede Wenten tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa membran yang dibuat telah memenuhi syarat sebagai membran UF.

3.2 Penentuan Tekanan Operasi Terbaik

Tekanan operasi yang digunakan pada penelitian ini adalah 2 kg/cm², 3 kg/cm² dan 4 kg/cm² serta dilakukan percobaan sebanyak 2 kali dengan waktu operasi setiap percobaan adalah 60 menit. Pengaruh fluks terhadap waktu pada masing-masing tekanan ditunjukkan pada Gambar 3. Penurunan fluks dapat diakibatkan oleh adanya polarisasi konsentrasi, *fouling* dan *scaling*.

Laju fluks akan menurun sejalan dengan waktu operasi. Pada kisaran menit awal operasi 0 hingga 25 menit, penurunan fluks lebih tajam. Pada operasi lebih dari 25 menit, penurunan fluks relatif landai atau kecil.

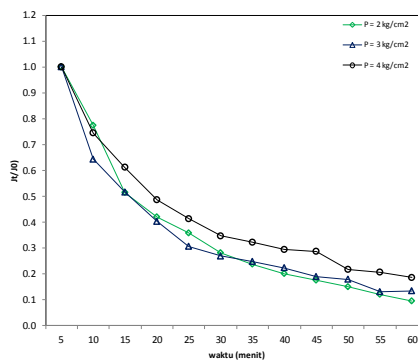


Gambar 3. Hubungan fluks terhadap waktu pada masing-masing tekanan

Berdasarkan permeat yang telah diperoleh, hasil percobaan dengan tekanan 2 kg/cm², 3 kg/cm², dan 4 kg/cm² menunjukkan bahwa BOA sampel air gambut mengalami penurunan dibandingkan sebelum percobaan. Hal ini dapat dilihat dari warna air gambut setelah melewati membran cenderung lebih terang dibandingkan dengan air gambut sebelum melewati membran. Pada Gambar 3 terlihat bahwa semakin lama waktu operasi, semakin kecil fluks yang dihasilkan. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan bentuk dan ukuran molekul dan tingkat kekasaran membran sebagai faktor yang berpengaruh menyebabkan penurunan fluks (Lee, dkk. 2004).

Data yang didapatkan dari percobaan ini berupa perhitungan nilai fluks setiap 5 menit waktu operasi. Nilai fluks pada tekanan 2 kg/cm² saat 5 menit pertama sebesar 96,71 L/m².jam dan terus menurun hingga pada menit ke 60 fluks yang dihasilkan hanya sebesar 9,18 L/m².jam. Pada tekanan 3 kg/cm², saat waktu operasi 5 menit pertama menghasilkan fluks sebesar 102,71 L/m².jam dan sebesar 13,76 L/m².jam pada waktu 60 menit. Nilai fluks di 5 menit pertama pada tekanan 4 kg/cm² sebesar 100,94 L/m².jam dan menjadi 18,71 L/m².jam pada menit ke 60. Warna permeat yang dihasilkan pada tekanan 2 kg/cm² lebih terang dibandingkan dengan warna permeat yang dihasilkan pada tekanan 4 kg/cm².

Pada Gambar 4 menunjukkan pola J_t/J_0 terhadap waktu. Semakin kecil J_t/J_0 , maka *fouling* yang terjadi semakin besar. Nilai J_t/J_0 pada Gambar 4 merupakan perbandingan nilai fluks dari percobaan masing-masing tekanan operasi terhadap waktu.



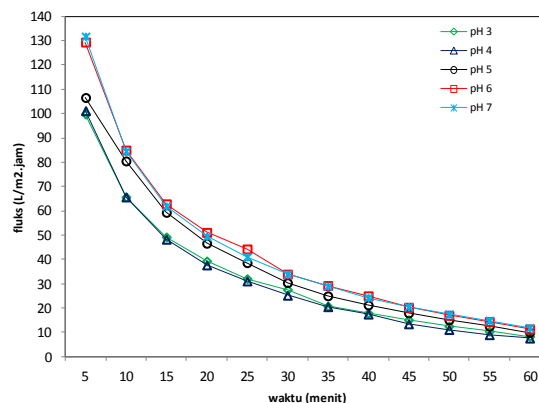
Gambar 4. Hubungan J_t/J_0 terhadap waktu

Pada Gambar 4 terlihat bahwa nilai J_t/J_0 pada tekanan 3 kg/cm² cenderung lebih landai dibandingkan dengan tekanan 2 kg/cm² terutama pada 25 menit pertama. Nilai J_t/J_0 pada tekanan 4 kg/cm² paling tinggi atau paling besar dibandingkan dengan nilai J_t/J_0 pada tekanan 2 kg/cm² dan 3 kg/cm².

3.3 Penentuan pH Terbaik

pH sampel air gambut yang digunakan pada percobaan penentuan pH air gambut terbaik diatur dari 3-7 dengan tiga kali percobaan. Gambar 5 menyajikan grafik fluks rata-rata pada masing-masing pH terhadap waktu. Pada Gambar 5 terlihat bahwa pada pH 4 terjadi penurunan fluks paling besar dibandingkan dengan pH 6 dan 7 yang cenderung mengalami penurunan fluks lebih kecil.

Laju fluks akan menurun sejalan dengan waktu operasi. Pada kisaran menit awal operasi 0 hingga 30 menit, penurunan fluks lebih tajam. Pada operasi lebih dari 30 menit, penurunan fluks relatif landai atau kecil.

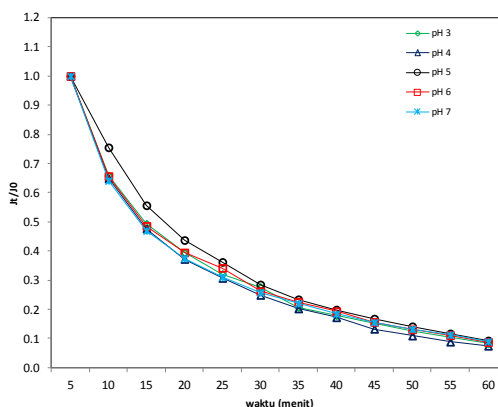


Gambar 5. Fluks rata-rata masing-masing pH terhadap waktu

Penurunan fluks pada masing-masing pH cenderung sabil. Pada pH 3 dan 4 penurunan fluks yang terjadi sama-sama besar dan memiliki selisih yang sangat kecil seperti yang terlihat pada Gambar 4.13. pada pH 5 penurunan fluks lebih kecil dengan penurunan fluks pada pH 3 dan 4. Pada pH 6 dan 7 juga memiliki selisih penurunan nilai fluks yang sangat kecil.

Data yang didapatkan dari percobaan ini berupa perhitungan nilai fluks setiap 5 menit waktu operasi. Nilai fluks pada pH 3 di 5 menit pertama sebesar 99,76 L/m².jam dan pada menit ke 60 sebesar 8,24. Fluks pada pH 4 saat menit ke 5 dan menit ke 60 berturut-turut adalah 101,18 L/m².jam dan 7,53 L/m².jam. nilai fluks pada pH 5 di menit ke 5 sebesar 106,59 L/m².jam dan sebesar 9,88 L/m².jam pada menit ke 60. Pada pH 6, fluks yang dihasilkan pada menit ke 5 adalah 129,41 L/m².jam dan pada menit ke 60 sebesar 11,29 L/m².jam. Pada pH 7 fluks pada menit ke 5 sebesar 131,76 L/m².jam dan pada menit ke 60 fluks yang dihasilkan sebesar 11,76 L/m².jam.

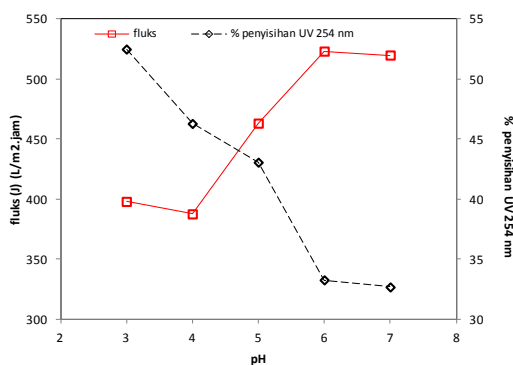
Pada Gambar 6 menunjukkan pola J_t/J_0 terhadap waktu. Semakin kecil J_t/J_0 , maka *fouling* yang terjadi semakin besar. *Fouling* paling besar berdasarkan grafik pada penelitian ini justru terjadi pada pH 4 disusul dengan pH 3. *Fouling* paling sedikit berdasarkan grafik ditunjukkan oleh pH 5.



Gambar 6. Hubungan J_t/J_0 masing-masing pH terhadap waktu

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa pada pH 4, terjadi penurunan nilai J_t/J_0 lebih besar dibandingkan dengan pH 3,5,6 dan 7. Namun kualitas sampel air gambut dengan pH 3 lebih bagus dibandingkan pH 4,5,6 dan 7 karena bahan organik yang tersisihkan lebih banyak dibandingkan pH lainnya namun berbanding terbalik dengan nilai fluks yang dihasilkan sampel air gambut dengan pH 3 yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai pH 4-7.

Untuk menentukan pH terbaik, salah satu cara yang dilakukan adalah membandingkan total fluks masing-masing tekanan terhadap persen penyisihan 254 nm. Pada Gambar 7, terlihat bahwa total fluks cenderung meningkat seiring dengan besarnya nilai pH namun berbanding terbalik dengan persen penyisihan BOA yang cenderung menurun seiring dengan kenaikan nilai pH.



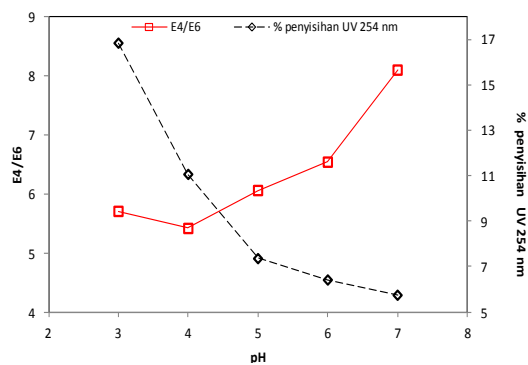
Gambar 7. Hubungan fluks dan % penyisihan 254 nm terhadap pH

Persen penyisihan BOA terus meningkat seiring dengan penurunan nilai pH. Penelitian yang dilakukan oleh Dong dkk.(2006) menyebutkan bahwa penurunan nilai pH dapat mengecilkan ukuran molekul BOA dan meningkatkan adsorpsi pada membran, sehingga menyebabkan banyaknya *fouling* yang terjadi. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan bahwa pada pH 3 dan 4 *fouling* yang terjadi cukup tinggi. Pada Gambar 7, persen penyisihan BOA pada pH 3 memiliki persen penyisihan BOA tertinggi dibandingkan dengan pH lainnya, yaitu sebesar 52,5%. ditandai dengan rendahnya total fluks dibandingkan dengan pH lainnya yaitu 398,12 L/m².jam.

Pada pH 3,4,5,6 dan 7 persen penyisihan BOA yang dihasilkan berturut-turut adalah 52,5%; 46,3%; 43,1%; 33,3% dan 32,7%. Total fluks pada masing-masing pH yaitu 398,12 L/m².jam; 387,76 L/m².jam; 463,3 L/m².jam; 523,29 L/m².jam dan 520,00 L/m².jam. Kesimpulan yang dapat diambil dari grafik perbandingan nilai total fluks dan persen penyisihan BOA terhadap pH adalah bahwa pH terbaik berada pada pH 5 karena pada pH 5 hubungan fluks dan persen penyisihan BOA memiliki selisih paling kecil dibandingkan pada pH 3,4,6 dan 7.

Setelah melakukan perbandingan nilai total fluks dan persen penyisihan BOA pada masing-masing pH, kemudian dilakukan perbandingan persen penyisihan BOA terhadap rasio E₄/E₆. Gambar 8 merupakan grafik hubungan persen penyisihan BOA dan rasio E₄/E₆. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa kenaikan nilai pH mengakibatkan penurunan terhadap persen penyisihan BOA, sedangkan persen penyisihan BOA berbanding terbalik dengan rasio E₄/E₆.

Rasio E₄/E₆ digunakan untuk memantau perubahan ukuran molekul relatif dalam permeat dan dalam larutan umpan. Jumlah dan pengaruh fouling membran juga ditentukan dengan mengukur fluks air yang melewati membran. Peningkatan rasio E₄/E₆ dalam permeat menetapkan pendapat bahwa ukuran pori membran menurun seiring dengan hasil adsorpsi BOA dan batasan pori. UV-VIS spektroskop digunakan untuk menentukan perubahan konsentrasi dan ukuran rata-rata molekul BOA terlarut (Maartens, dkk. 1999b).



Gambar 8. Nilai % penyisihan 254 nm dan E₄/E₆ setelah proses filtrasi dengan pH bervariasi

Persen penyisihan BOA pada pH 3 hingga pH 7 mengalami penurunan. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Dong dkk. (2006) yang menyatakan bahwa terjadi penurunan persen penyisihan BOA pada pH 5,5 – 7,5. Persen penyisihan BOA pada pH 3,4,5,6 dan 7 berturut-turut adalah 52,5%; 46,3%; 43,1%; 33,3% dan 32,7%. Rasio E₄/E₆ menurun pada pH 4 dibandingkan pada pH 3, namun pada pH 5 meningkat dibandingkan pada pH 4, dan kembali mengalami penurunan pada pH 6, kemudian meningkat cukup signifikan pada pH 7. Rasio E₄/E₆ pada pH 3 adalah 8,189; pada pH 4 yang memiliki rasio E₄/E₆ paling kecil yaitu hanya sebesar 7,296; pada pH 5 memiliki rasio sebesar 12,450; pada pH 6 sebesar 8,267 dan pada pH 7 memiliki rasio E₄/E₆ tertinggi yaitu sebesar 34,847. Persen penyisihan BOA tertinggi berada pada pH 3 yang berbanding terbalik dengan rasio E₄/E₆ pada pH 3 yang cenderung rendah. Pada Gambar 4.16 terlihat bahwa perubahan E₄/E₆ pada nilai pH 3-6 tidak terlalu signifikan, namun pada nilai pH 7 rasio E₄/E₆ meningkat cukup tinggi. Pada perhitungan tersebut didapatkan bahwa selisih persen penyisihan BOA dan rasio E₄/E₆ paling kecil berada pada pH 6. Dibandingkan dengan grafik hubungan fluks terhadap persen penyisihan BOA, bahwa persen penyisihan BOA dan rasio E₄/E₆ pada pH 5 lebih besar daripada pH 6, sehingga pH terbaik dalam penelitian ini adalah pH 5.

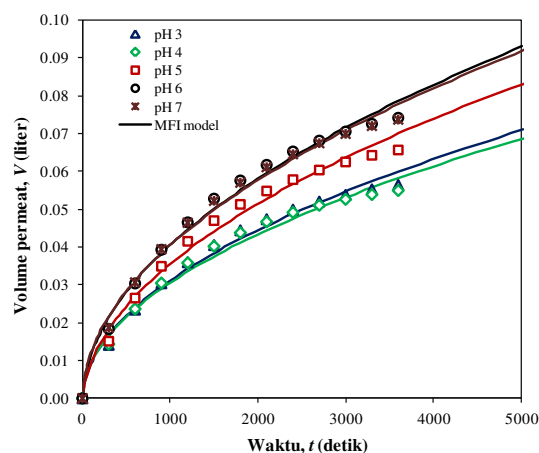
Hasil penelitian yang telah didapatkan sedikit berbeda dengan hasil yang didapatkan oleh Maartens dkk. yang menyatakan bahwa antara pH 4,5 – 9 tidak ada perubahan rasio E_4/E_6 secara signifikan. Penelitian oleh Maartens dkk. (1999) menyatakan bahwa pada pH rendah, endapan kompleks dari larutan hanya menyisakan molekul dengan ukuran kecil diiringi dengan meningkatnya rasio E_4/E_6 . Pada pH tinggi, menghasilkan molekul besar yang lebih larut dengan diiringi penurunan rasio E_4/E_6 . Perubahan pH air secara signifikan berpengaruh terhadap E_4/E_6 yang mengindikasikan ukuran molekul (Maartens, dkk. 1999a).

Pada penelitian variasi pH ini, dilakukan perhitungan MFI untuk memprediksi tingkat *fouling* yang terjadi. MFI digambarkan sebagai gradien linear dari t/V terhadap V . Nilai MFI berbanding lurus terhadap potensi *fouling*. Besarnya gradien MFI menyebabkan potensi *fouling* yang terjadi semakin besar, begitu pula sebaliknya. Hasil pemodelan MFI dengan pH bervariasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai MFI pada masing-masing pH

pH	MFI	R ²
3	971.948,76	0,916
4	1.055.893,58	0,906
5	677.397,05	0,901
6	556.842,36	0,927
7	581.964,29	0,935

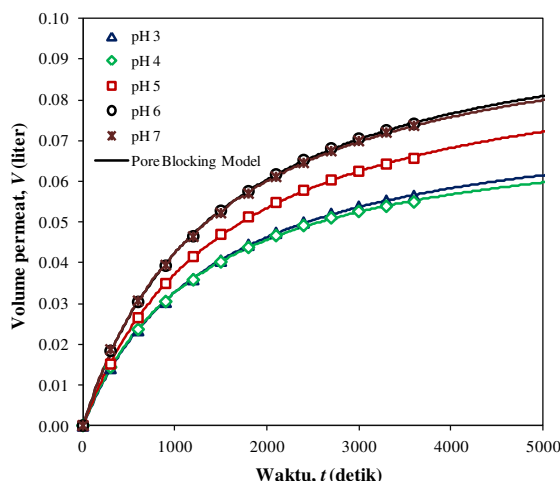
Berdasarkan perhitungan, pH 4 memiliki nilai MFI paling besar yang menyatakan bahwa potensi *fouling* paling besar adalah pada pH 4. Nilai MFI pada pH 3 lebih rendah dibandingkan dengan pH 4. Nilai MFI semakin menurun dengan urutan sebagai berikut : pH 5, pH 7 dan pH 6. Hasil pemodelan MFI sesuai dengan hasil penelitian bahwa pada pH 4 potensi *fouling* paling tinggi mengingat fluks yang dihasilkan pada pH 4 paling kecil dibandingkan pada pH lainnya. Berdasarkan kesesuaian hasil penelitian dengan model MFI, maka model MFI dapat digunakan untuk menyatakan potensi *fouling* yang terjadi pada penelitian ini. Model MFI untuk pH 3-7 ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Model MFI variasi pH

Model MFI berfungsi untuk mengamati potensi *fouling* pada jangka waktu yang panjang. Pemodelan MFI pada penelitian ini dilakukan dengan waktu lebih dari 5000 detik. Pola model MFI menunjukkan hasil perbandingan lurus masing-masing pH terhadap waktu. Pemodelan lain yang dapat digunakan pada penelitian ini adalah model *pore blocking*.

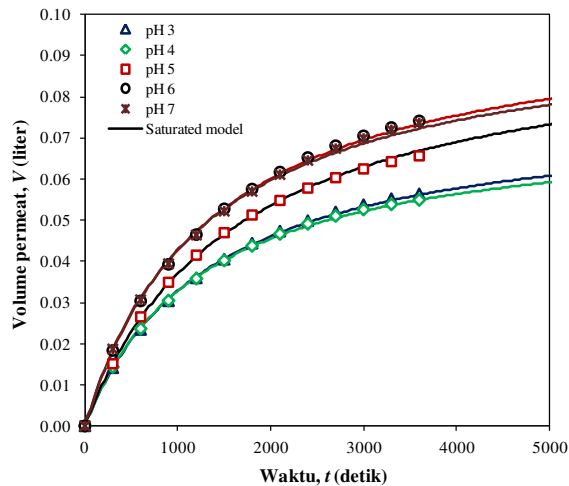
Model *pore blocking* digunakan untuk melihat seberapa cepat terjadi penyumbatan pada pori membran. *Pore blocking* digambarkan sebagai gradien linear dari t/V terhadap t . Nilai *pore blocking* berbanding lurus terhadap laju penyumbatan pori membran. Besarnya gradien *pore blocking* menyebabkan penyumbatan pada pori membran berlangsung semakin cepat, begitu pula sebaliknya.



Gambar 10. Model *pore blocking* pada variasi pH

Model *pore blocking* berfungsi untuk mengamati tingkat penyumbatan pori membran pada jangka waktu yang panjang. Pada model *pore blocking* dengan tekanan bervariasi, dilakukan pemodelan hingga waktu 6000 detik. Pola model *pore blocking* dengan pH 3 hingga 7 menunjukkan kenaikan seiring dengan waktu. Pemodelan lain yang dapat digunakan pada penelitian ini adalah model *saturated*.

Model *saturated* digunakan untuk mengamati tingkat jenuh pada masing-masing pH. Model *saturated* digambarkan sebagai gradien linear dari $1/V$ terhadap $1/t$. Nilai V_{max} dan K_f pada model *saturated* berbanding terbalik dengan tingkat jenuh. Besarnya nilai V_{max} dan K_f menyebabkan semakin kecil tingkat jenuh, begitu pula sebaliknya. Hasil yang ditunjukkan pada model *saturated* dengan pH beragam menunjukkan hasil yang kurang konsisten, yaitu pada pH 6 memiliki nilai V_{max} tertinggi, namun tidak sebanding dengan nilai K_f yang bukan merupakan nilai tertinggi, yaitu 22,83. Nilai K_f tertinggi justru ada pada pH 5. Berdasarkan hasil tersebut, maka model *saturated* kurang mempresentasikan tingkat jenuh pada pH yang bervariasi.



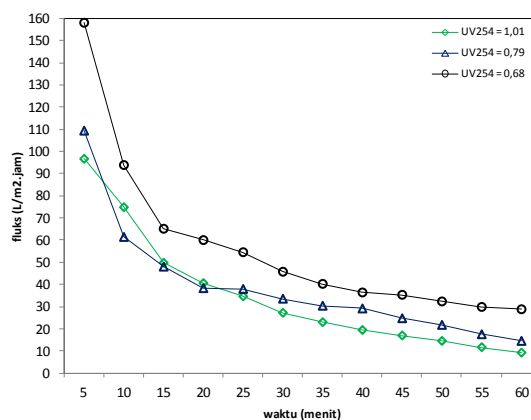
Gambar 11. Model *saturated* dengan pH bervariasi

Model *saturated* menunjukkan tingkat kejenuhan membran dari *cake layer* yang terbentuk. Kejenuhan pada membran terjadi setelah membran termampatkan oleh BOA. Menumpuknya BOA pada permukaan membran mengakibatkan penurunan fluks relatif kecil dibandingkan pada menit-menit awal operasi filtrasi membran UF.

3.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Gambut

Variasi konsentrasi air gambut dilakukan dengan pengenceran sampel air gambut menggunakan akuades dengan persentase akuades 0% (air gambut murni), 25% dan 50%. Sampel air gambut yang digunakan dalam penelitian ini diambil pada hari yang sama saat cuaca terik. Percobaan penentuan konsentrasi terbaik dilakukan sebanyak 2 kali. Hasil perhitungan fluks pada ketiga variasi konsentrasi tersebut menunjukkan bahwa pada air gambut murni, terjadi penurunan fluks paling besar dibandingkan dengan pengenceran 25% dan 50%.

Laju fluks akan menurun sejalan dengan waktu operasi. Pada kisaran menit awal operasi 0 hingga 15 menit, penurunan fluks lebih tajam. Pada operasi lebih dari 15 menit, penurunan fluks relatif landai atau kecil.



Gambar 12. Fluks rata-rata masing-masing pengenceran sampel air gambut terhadap waktu

Nilai rata-rata UV_{254} pada masing-masing pengenceran menggunakan akuades adalah : sebesar 1,01 pada air gambut murni (0%); 0,79 pada pengenceran 25% dan 0,68 pada pengenceran 50%. Nilai UV_{254} menurun seiring dengan banyaknya persentase akuades yang digunakan, yang mengindikasikan bahwa kandungan BOA semakin sedikit seiring banyaknya akuades yang digunakan. Grafik hubungan fluks masing-masing pengenceran ditampilkan pada Gambar 12.

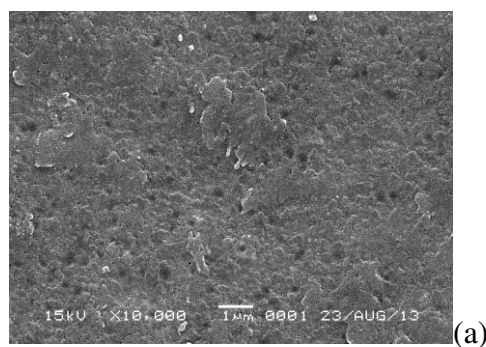
Pada Gambar 12, terlihat bahwa penurunan fluks paling cepat terjadi pada pengenceran sampel 50% dengan nilai UV_{254} nm sebesar 0,68. Hal ini dapat disebabkan karena banyaknya konsentrasi akuades pada sampel air gambut membuat air umpam dapat dengan cepat melewati membran. Penurunan fluks paling stabil berada saat pengenceran 0% atau sampel air gambut asli yang tidak diencerkan dengan nilai UV_{254} nm sebesar 1,01.

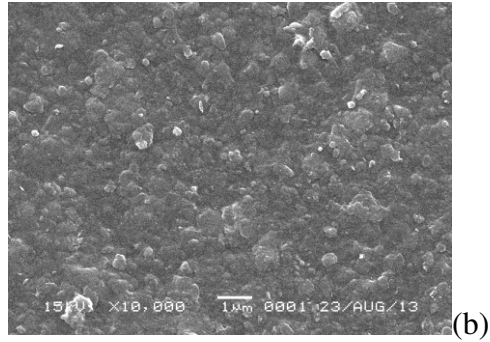
Data yang didapatkan dari percobaan ini berupa perhitungan nilai fluks setiap 5 menit waktu operasi. Nilai fluks pada air gambut murni (0%) saat 5 menit pertama sebesar $96,71 L/m^2 \cdot jam$ dan terus menurun hingga pada menit ke 60 fluks yang dihasilkan hanya sebesar $9,18 L/m^2 \cdot jam$. Pada konsentrasi pengenceran 25%, saat waktu operasi 5 menit pertama menghasilkan fluks sebesar $109,41 L/m^2 \cdot jam$ dan sebesar $14,47 L/m^2 \cdot jam$ pada waktu 60 menit. Nilai fluks di 5 menit pertama pada konsentrasi pengenceran 50% sebesar $158,12 L/m^2 \cdot jam$ dan menjadi $28,76 L/m^2 \cdot jam$ pada menit ke 60.

3.4 Analisa SEM (Scanning Electron Microscopy)

Karakterisasi membran juga dilakukan dengan uji SEM untuk melihat ukuran dan bentuk pori membran UF. Uji SEM dilakukan dengan cara sampel direkatkan dalam suatu silinder logam yang berdiameter 1 cm dengan menggunakan perekat ganda. Sampel tersebut kemudian dipreparasi dan dilapisi dengan logam emas dalam kondisi vakum. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam instrumen lalu diatur dan difoto dengan perbesaran tertentu (Indriani, 2009).

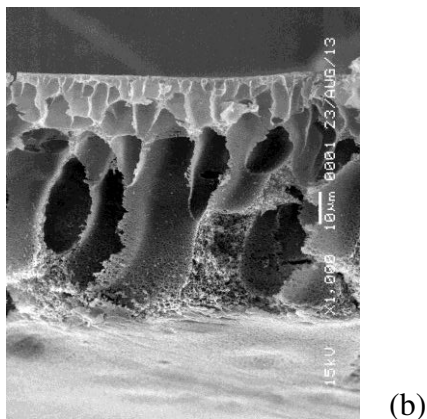
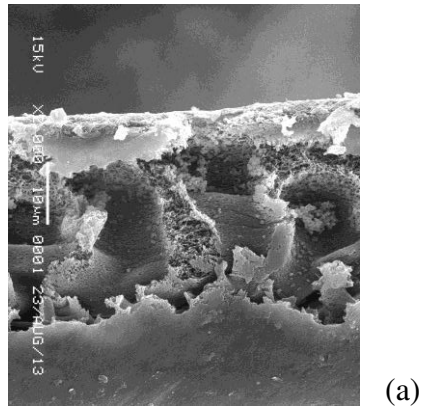
Pada Gambar 13. (a) yaitu gambar permukaan datar dari membran sebelum digunakan, pori-pori membran terlihat jelas. Pada Gambar 13 (b), pori membran telah tertutupi oleh BOA air gambut.





Gambar 13. Hasil SEM pada permukaan datar dari (a) membran sebelum digunakan (b) membran setelah digunakan

Pada Gambar 14 menunjukkan hasil uji SEM tampak melintang membran sebelum digunakan dan sesudah digunakan.



Gambar 14. Foto tampak melintang SEM membran sebelum dan sesudah digunakan : (a) Foto SEM membran bersih (tampak melintang) (b) Foto SEM membran yang telah terkontaminasi (tampak melintang)

Hasil dari foto SEM penampang melintang membran sebelum digunakan maupun yang setelah digunakan menunjukkan bahwa membran tersebut diidentifikasi memiliki struktur membran

asimetrik. Membran asimetrik merupakan membran yang tersusun oleh beberapa lapisan. Struktur membran asimetrik terdiri atas lapisan yang sangat padat dan lapisan berpori sebagai penyangga (*spinger*).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. pH sampel air gambut berpengaruh terhadap kinerja membran UF. Pada pH rendah, ukuran molekul BOA semakin kecil dan meningkatkan adsorpsi pada membran, sehingga menyebabkan banyaknya *fouling* yang terjadi dan mengakibatkan fluks yang dihasilkan pada pH rendah lebih sedikit. Fluks yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan kenaikan pH air gambut. Kecilnya nilai pH membuat persen penyisihan BOA semakin besar karena banyaknya BOA yang tertahan pada membran. Kenaikan persen penyisihan BOA meningkat dari 32,69% pada pH 7 menjadi 52,41% pada pH 3, namun berbanding terbalik dengan rasio E_4/E_6 . Pada pH yang semakin rendah, rasio E_4/E_6 semakin menurun yang mengindikasikan bahwa pada pH rendah masih banyak terdapat molekul dengan ukuran besar dilihat dari nilai rasio E_4/E_6 tersebut.
2. Pengaruh pH air gambut terhadap *fouling* membran UF berdasarkan model MFI bahwa pada pH 3 dan 4 cenderung memiliki potensi *fouling* yang tinggi. Besarnya harga pH berbanding terbalik terhadap potensi *fouling* yang semakin kecil seiring dengan kenaikan pH.

DAFTAR PUSTAKA

- Dong, B. Z., Y. Chen, N.Y. Gao, J.C. Fan. (2006). Effect of pH on UF Membrane Fouling. *Desalination*, 195, 201-208.
- Lee, N., Gary Amy, Jean Philippe Croue, Herve Buisson. (2004). Identification and Understanding of Fouling in Low-Pressure Membrane (MF/UF) Filtration by Natural Organic Matter (NOM). *Water Research*, 38, 4511-4523.
- Maartens, A., P. Swart and E.P. Jacobs. (1999) a. Feed Water Pretreatment : Methods to Reduce Membrane Fouling by Natural Organic Matter *Journal of Membrane Science*, 163, 51-62.
- Maartens, A., P. Swart and E.P. Jacobs. (1999) b. Removal of Natural Organic Matter by Ultrafiltration : Characterisation, Fouling and Cleaning. 40, 113-120.
- Notodarmojo, S. 1994. Pengolahan Air Berwarna, Kajian Terhadap Studi Laboratorium. *Makalah Lokakarya Pengolahan Air Berwarna*. 32-33.
- Notodarmojo, S., dan Anne Deniva 2004. Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End (Studi Kasus : Waduk Saguling, Padalarang) 36 A,No.1,2004,63-82 65.
- Syarfi, S. H. 2007. Rejeksi Zat Organik Air Gambut dengan Membran Ultrafiltrasi. *Sains dan teknologi*, 6, 1-4.
- Wenten, I. G. 1999. Teknologi Membran Industri.
- Yuan, W., and Andrew L. Zydney 1999. Humic Acid Fouling during Microfiltration. *Journal of Membrane Science*, 157, 1-12.