

Review: Karakterisasi dan Modifikasi Membran Poliamida untuk Aplikasi Pemisahan Zat Warna

Yohana Ivana Kedang^a

^a Program Studi Kimia, Universitas Timor, Kefamenanu, TTU – NTT, Indonesia, email: 27yogakedang@gmail.com

Article Info

Article history:

Received 10 Desember 2018

Received in revised form 15 Desember 2018

Accepted 16 Desember 2018

DOI:

<https://doi.org/10.32938/slk.v1i2.568>

Keywords:

Membran nanofiltrasi, Karakterisasi Poliamida

Abstrak

Membran nanofiltrasi terjadi akibat proses perbedaan tekanan untuk memisahkan solut berukuran lebih besar dari larutan. Membran ini digunakan pada proses pemurnian air, seperti pelunakan air, penghilangan zat warna, dan penghilangan mikropolutan. Membran memiliki beberapa kriteria yang penting untuk menentukan kinerja membran sebagai filtrasi yakni parameter fluks (permeabilitas), rejeksi (permselektivitas), ketebalan, morfologi dan sifat mekanik membran. Artikel ini diharapkan dapat memberikan ide dan rekomendasi mengenai karakterisasi membran serta pembuatan membran nanofiltrasi menggunakan modifikasi membran poliamida.

1. Pendahuluan

Nanofiltrasi pada pengolahan limbah industri tekstil telah dimulai sejak tahun 1990 dan terbukti bermanfaat untuk penggunaan kembali limbah cair industri tekstil. Membran nanofiltrasi untuk pemisahan ukuran juga bisa memberikan penolakan ion lainnya. Dibandingkan dengan reverse osmosis, fluks menyerap nanofiltrasi lebih besar sedangkan konsumsi energi lebih sedikit (Zahrim *dkk.*, 2011).

Salah satu masalah pada membrane nanofiltrasi adalah fouling yang akan menyebabkan biaya operasi lebih tinggi: permintaan energi yang lebih tinggi peningkatan pembersihan dan jangka waktu berkurang pada elemen membran. Selain itu, nanofiltrasi mungkin tidak efisien dalam mengurangi pewarna fnddengan berat molekul rendah. Pengolahan awal umpam, modifikasi membran/permukaan dan parameter operasi dapat digunakan untuk mencegah atau mengurangi fouling membran serta meningkatkan efisiensi nanofiltrasi. Pemberian pengolahan awal adalah salah satu metode yang berhasil dan mudah untuk mengurangi fouling membran. Beberapa metode pengolahan air limbah pewarna untuk filtrasi membran telah dipelajari: oksidasi, prefiltrasi, adsorpsi, dan koagulasi/flokulasi. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan (Zahrim *dkk.*, 2011).

Membran fouling disebabkan oleh komponen anorganik atau organik terlarut, koloid, bakteri atau padatan tersuspensi. Molekul pewarna dapat ditemukan dalam bentuk terlarut atau koloid. Koloid disebut ukuran partikel antara 10-6 mm dan 10-5 mm (1-10 nm). Beberapa jenis zat warna seperti asam, basa, dan zat reaktif adalah jenis yang larut dalam air, dan jenis belerang dalam bentuk koloid. Namun, pengotoran karena senyawa anorganik dan organik terlarut secara spesifik lebih bermasalah terhadap nanofiltrasi (Zahrim *dkk.*, 2011).

Membran fouling dapat menurunkan fluks permeat dan dapat mempengaruhi retensi senyawa organik. Hal ini dapat diklasifikasikan sebagai reversibel dan ireversibel. Pengotoran balik dapat dibersihkan dengan mudah dengan menggunakan parameter proses yang berubah dan pembilasan air sementara pengotoran ireversibel sulit dibersihkan dan mungkin memerlukan pembersihan kimia seperti soda kaustik. Pengotoran fouling reversibel dan ireversibel dapat berkontribusi hingga 18% dan 26-46% fluks permeat (Zahrim *dkk.*, 2011). Pada data penelitian sebelumnya tertera bahwa sebagian besar matriks utama membran merupakan polimer, antara lain selulosa asetat, poli eter sulfone, poli acrilonitril, poliamida, poliviniliden flourit, poli propilen, poli eter imida, polivinil alkohol.

Artikel ini membahas karakterisasi membran nanofiltrasi dan memberikan ide serta rekomendasi mengenai inovasi pembuatan membran nanofiltrasi untuk pemisah limbah zat warna.

2. Karakterisasi

2.1 ATR-FTIR

Spektrum FTIR dapat diperoleh terutama dalam tiga konfigurasi eksperimental yang berbeda: transmisi, refleksi absorpsi (transfleksi) atau refleksi total yang dilemahkan (ATR). Yang pertama beroperasi dengan mentransmisikan radiasi IR melalui substrat sampel, sedangkan pada transfleksi radiasi berinteraksi dengan sampel dan dipantulkan kembali oleh substrat. Akhirnya, pada mode ATR, sampel diletakkan pada kristal dengan indeks bias lebih tinggi dari pada sampel, yang menginduksi refleksi internal total radiasi, yang dilemahkan dan menembus ke dalam sampel sebagai gelombang cepat yang sangat cepat (Lima *dkk.*, 2015).

ATR-FTIR pada membran digunakan untuk mendapatkan informasi tentang kondisi diterapkan pada hukum kedua Fick, yang digunakan untuk memodelkan difusi permeant yang melintasi membran silikon. Penelitian menunjukkan bahwa ketika adanya pelarut antara kristal ATR dan membran silikon dapat mempengaruhi profil difusi permeant. Efek ini lebih signifikan jika permeant memiliki kelarutan tinggi dalam pelarut. Sebaliknya, pelarut yang masuk ke dalam membran sampai batas yang lebih tinggi, atau di mana kelarutan permeant di dalam relatif rendah, menunjukkan kecocokan yang baik pada model difusi. Dengan demikian sistem ini memungkinkan pendekatan spektroskopi

ATR-FTIR untuk memberikan pengetahuan mekanistik tentang bagaimana pelarut tertentu meningkatkan permeasi (McAuley *dkk.*, 2010).

2.2 Uji Komponen Kimia dengan XPS

X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) adalah salah satu instrumen yang sensitif terhadap permukaan, yang menyediakan jumlah dan keadaan elemen yang disajikan pada lapisan permukaan dengan kedalaman sekitar 10 nm. Selain itu, kedalaman analisis mungkin berbeda atau berubah bahkan untuk teknik karakterisasi tertentu, yang sangat berguna dalam menganalisis permukaan dengan gradien kimia (Xu *dkk.*, 2009).

Pada XPS, fotoelektron diemisikan kembali oleh sampeldimana sebnading dengan nilai energi dari elemen yang ada di permukaan. Energi fotoelektron yang dipancarkan kemudian dianalisis dengan spektrometer elektron dan data disajikan sebagai grafik intensitas terhadap energi elektron. Energi kinetik elektron adalah kuantitas eksperimental yang diukur dengan spektrometer, namun ini bergantung pada pancaran dari XPS. Energi pengikat elektron adalah parameter yang mengidentifikasi elektron secara khusus, baik dari segi elemen maupun tingkat energi atomnya (Xu *dkk.*, 2009).

2.3 Karakterisasi Kristalinitas dengan XRD

Difraksi sinar X (XRD) telah lama digunakan untuk mempelajari berbagai aspek struktur ini dalam polimer semikristalin, yang meliputi termoplastik, elastomer termoplastik dan polimer kristal cair. Sementara banyak metode untuk penentuan struktur molekul, evaluasi kristalinitas dan analisis tekstur, terus ditingkatkan untuk meningkatkan kecepatan dan ketepatan pengukuran ini. Dengan tersedianya sumber sinar-X yang kuat, detektor kecepatan tinggi dan metode analisis yang lebih cepat, untuk memeriksa struktur pada resolusi spasial yang lebih tinggi dan skala waktu yang lebih kecil. Misalnya, adalah mungkin untuk mengikuti perkembangan struktur dalam jalur pemrosesan, seperti dalam operasi pemindaian dan penggambaran, atau dalam ekstrusi film dengan resolusi waktu kurang dari satu detik, atau pemeriksaan inhomogeneities struktural yang diinduksi lebih dari jarak beberapa mikrometer oleh gradien suhu dan tegangan yang ada selama pemrosesan. Perkembangan ini juga memungkinkan untuk menggabungkan analisis XRD dengan teknik karakterisasi lainnya seperti analisis termal, reologi, spektroskopi dan mikroskop (Murthy, 2004).

2.4 Karakterisasi Morfologi dengan SEM

SEM merupakan metoda karakterisasi dan penelitian struktur pori pada membran mikrofiltrasi. Prinsip SEM secara garis besar, yaitu seberkas elektron dengan energi kinetic 1-25 kV ditembakkan pada sampel membran. Elektron yang ditembakkan disebut sebagai elektron primer (energi tinggi), dan yang dipantulkan adalah elektron sekunder (energi rendah). Elektron sekunder tidak dipantulkan tapi disebarkan oleh atom pada permukaan dan membentuk gambaran pada layar atau mikrograf. Analisa SEM dilakukan pada permukaan membran bersih dan membran yang telah digunakan. Selain itu, untuk melihat deformasi, analisa juga dilakukan pada potongan membran sebelum dan setelah digunakan (Notodarmojo *dkk.*, 2004).

Karakterisasi membran oleh SEM adalah teknik umum untuk analisis, yang digunakan untuk serat berongga polimer, untuk mengarakterisasi morfologi membran polimer asimetris dan campuran polimer, yang digunakan dalam nanofiltrasi, untuk mengukur ketebalan lapisan atas dan pendukungnya dan perannya dalam mengendalikan tingkat transport massa membran, dan juga pada akhir perubahan pada membran sebelum dan sesudah nanofiltrasi (Tylkowski & Tsihranska, 2015).

2.5 Karakterisasi Topografi dengan AFM

AFM mempunyai aplikasi yang luas dan berkembang pesat dalam penelitian. Teknik ini telah digunakan untuk menggambarkan permukaan. AFM merupakan alat yang menghasilkan gambar 3D struktur permukaan yang beresolusi tinggi. Penggunaan AFM juga untuk menentukan kekasaran membran. Kekasaran permukaan adalah salah satu ciri permukaan yang penting dan memberi sifat yang signifikan kepada sifat hidrofilik dan sifat kekotoran

pada membran. Hasil AFM menunjukkan permukaan membran terdiri daripada puncak dan lembah (Mohammad dkk., 2011).

Atomic Force Microscopy (AFM) dapat menghasilkan gambar topografi dengan memindai ujung mikroskopik di ujung kantilever di atas permukaan. Teknik ini telah digunakan untuk menghasilkan gambar dari banyak bahan dan resolusi dapat mencapai dimensi atom untuk permukaan datar. Teknik ini telah diterapkan pada studi membran yang menghasilkan informasi tentang morfologi permukaan, porositas permukaan, dan dimensi aglomerat yang teradsorpsi. Penerapan awal AFM atom ke proses pemisahan membran telah dilakukan. Peneliti juga menggunakan AFM untuk mengamati struktur permukaan membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi dan untuk menjelaskan mekanisme yang menyebabkan fouling pada membran pengolahan. Fitur utama AFM lainnya adalah kemampuannya untuk mengukur interaksi kekuatan sebagai fungsi jarak pemisahan permukaan probe. Teknik yang digunakan melibatkan immobilisasi partikel di ujung kantilever, menciptakan "probe koloid". Teknik ini telah digunakan untuk mengukur adhesi partikel lateks polimerik, sel biologis, dan protein untuk menghaluskan membran ultrafiltrasi. Pengukuran semacam itu memungkinkan pengamatan terhadap kecenderungan fouling membran tanpa memerlukan pengukuran proses (Mohammad dkk., 2011).

2.6 Uji TGA

Analisis termal gravimetri digunakan untuk menentukan tingkat degradasi termal. Analisis termal telah sering digunakan untuk mempelajari keseluruhan kinetika degradasi termal polimer. Pada polimer termoset, suhu tinggi pertama akan menyebabkan percepatan pengerasan dan memperbaiki sifat-sifatnya. Degradasi termal menyebabkan depolimerisasi, skrinning rantai acak, eliminasi dan oksidasi gugus fungsi (Gornicka & Gorecki, 2010).

Analisis termal adalah metode yang sangat berguna dan penting untuk digunakan untuk mengkarakterisasi bahan apapun, termasuk matriks polimer termoplastik atau thermosetting, serta untuk mengetahui pengaruh penambahan additive ke dalam polimer. Salah satu metode yang dapat diterima untuk mempelajari sifat termal dari bahan polimer adalah analisis termogravimetri (TGA). TGA adalah teknik analisis termal yang telah digunakan untuk mengukur perubahan berat massa sampel yang mengalami kenaikan suhu sehingga dapat memperkirakan reaksi yang melibatkan emisi gas (Siregar dkk., 2011).

2.7 Uji Potensial Zeta

Zeta potensial merupakan parameter karakteristik untuk deskripsi kimia pada permukaan padatan, yaitu sifat fisiko-kimia penting dari selulosa, kaca, logam, kain tekstil, keramik, dan sebagainya, memberikan informasi tentang kimia, polaritas, pembengkakan, porositas dan karakteristik permukaan lainnya. Potensi zeta digunakan untuk karakterisasi serat alami dan sintetis dan dalam penyelidikan hidrofilitasnya, yang penting untuk interaksi mereka dengan zat warna dan surfaktan. Hal ini juga penting untuk penelitian membran, filter, polimer murni atau polimer yang dimodifikasi oleh plasma, laser atau lapisan kimia, mis. dengan kitosan, biphenyldithiol, polietilen glikol atau dengan lapisan emas. Ini juga bisa digunakan dalam penelitian tekstil, dimana ζ -potensial memainkan peran penting dalam karakterisasi listrik dalam pengolahan basah, biomaterial dan kadacan sebagai parameter stabilitas koloid (cat, tinta cetak, lumpur pengeboran dll.). Potensi Zeta dari enamel manusia secara fisiologis penting karena mempengaruhi interaksi antara permukaan enamel dan medium air liur di sekitarnya. Hal ini juga penting untuk pengolahan limbah, terutama untuk pengolahan air limbah industri dan domestik. Potensi zeta selanjutnya dapat digunakan untuk pemeriksaan efek lingkungan mikro terhadap bioaktivitas senyawa pada antarmuka padat-cair (Kolská dkk., 2013).

Potensial zeta dikombinasikan dengan pH fasa cair dapat digunakan untuk menentukan interaksi elektrostatik antara permukaan polimer dan senyawa bioaktif amobil. Interaksi ini mempengaruhi kinetika antara senyawa bioaktif dan targetnya (metabolit, antigen / antibodi, substrat enzim, dan lain-lain) dalam cairan. Juga sifat lapisan tipis yang berbeda yang disimpan pada substrat padat (kaca, polimer, silika, dll.) Dapat dicirikan oleh ζ -potensial, mis. lapisan karbon tipis yang diendapkan pada silika atau Ag dopped lapisan hidroksiapatit pada silika.

Nanopartikel emas yang distabilkan dalam larutan dengan sitrat dicirikan oleh ζ -potensial. Upaya penelitian telah dikhususkan untuk menekan potensi dengan teknik yang berbeda termasuk dengan organosilan, dan pengendapan film polimer. Ada perbedaan mendasar antara silika dan permukaan polimer. Permukaan silika biasanya memiliki kepadatan muatan tinggi (hidrofilitas) dan polimer dengan kerapatan muatan lebih rendah, sebagian besar bersifat hidrofobik dan permukaannya dapat dipengaruhi oleh prosedur fabrikasi (Kolská dkk., 2013).

2.8 Karakterisasi Aplikatif

Uji Filtrasi. Model peragaan uji filtrasi dilakukan untuk memprediksi fluks permeat yang bergantung pada waktu terhadap mekanisme transport partikel. Efek dari ukuran partikel, desain, dan variabel operasi pada fluks permeat dan cara pembersihan perlu dipertimbangkan pada uji ini. Pada uji ini sekaligus akan mengoptimasi hal yang berkaitan dengan metode filtrasi seperti (a) desain membran dan operasi sistem, (b) frekuensi backflushing, dan (c) pemilihan filtrasi, dengan kualitas feed yang bervariasi (Sethi & Wiesner, 2000).

Pada uji filtrasi didapatkan beberapa data yang dapat menjadi pembanding antara sistem membran satu dengan sistem membran lainnya. Data yang

diperoleh pada uji nanofiltrasi untuk pemisahan zat warna adalah fluks air, rasio rejeksi, stabilitas membran dan jangka waktu penggunaan membran. Feed yang digunakan dalam uji filtrasi dapat divariasikan mulai dari variasi jenis zat warna, jenis garam terlarut, atau campuran dari berbagai zat warna dan garam terlarut (Zhang dkk., 2017).

Fluks didefinisikan sebagai aliran permeat yang dibagi oleh luas permukaan membran total, seperti yang ditunjukkan pada rumus di bawah, dan sering disajikan dalam satuan liter per meter persegi luas permukaan membran per jam (galon per hari per kaki persegi). Karena fluks sangat dipengaruhi oleh suhu air, fluks sering dinormalisasi ke suhu standar 25 ° C (77 ° F) untuk memperhitungkan fluktuasi viskositas air:

$$J = \frac{Q_p}{A_{system}}$$

Dimana
 J = fluks (L/m².h)
 Q_p = aliran permeate (L/h)
 A_{system} = luas area sistem membrane (m²)

Pada penentuan sifat penolakan pada membrane filtrasi yang telah dialiri larutan garam dan zat pewarna. Rasio penolakan (R) ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R = (1 - C_p/C_f) \times 100\%$$

Dimana
 C_p = konsentrasi larutan permeate
 C_f = konsentrasi larutan feed

3. Rekomendasi

Poliamida merupakan salah satu matriks utama dalam polimer yang dibuat dari poli eter sulfon yang dicoating dengan piperzine dan 1,3,5-benzotrikarbonil triklorida (TMC) sebagai stabilizer. Membran poliamida memiliki gugus klorin, amida, dan karboksil menyebabkan mudah untuk dimodifikasi. Poliamida mempunyai fluks air yang lebih tinggi dan rejection terhadap garam yang lebih rendah daripada membrane selulosa asetat. Membran poliamida stabil pada rentang pH yang lebih luas daripada selulosa asetat membran. Namun, membran poliamida rentan terhadap degradasi oksidatif oleh klorin bebas.

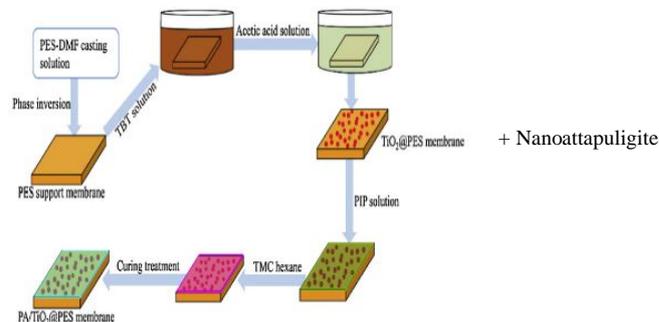
Salah satu kelemahan dari membran nanofiltrasi poliamida pemisah zat warna adalah memiliki rentang waktu yang pendek kisaran 3jam akibat mudahnya fouling. Pada aplikasi pemisahan zat warna, fouling diakibatkan adanya senyawa zat warna organik yang cenderung bersifat nonpolar, sehingga perlu adanya senyawa yang bersifat hidrofobik untuk memperlambat fouling, salah satunya TiO₂ nanopartikel. Filler anorganik ini telah digunakan pada membran nanofiltrasi poliamida untuk aplikasi pemisah zat warna, terbukti membran ini mempunyai rentang waktu yang lebih panjang yaitu 30hari. Namun membran poliamida termodifikasi TiO₂ nanopartikel ini memiliki fluks air yang rendah dan rejeksi terhadap zat warna antara 70%-90%. Sehingga masih diperlukan modifikasi membran poliamida lebih lanjut.

Fluks air dapat ditingkatkan dengan cara memberi lintasan yang lebih banyak pada membran untuk jalan lewatnya air namun tetap dapat menahan zat warna. Salah satu cara untuk memberi lintasan untuk jalannya air adalah dengan cara pembentukan nano-channel pada membran, yaitu dengan penambahan nano attapulgite. Pemberian nanoattapulgite pada membran poliamida telah menaikkan fluks sebesar 229.5 L m⁻² h⁻¹ MPa⁻¹ atau 1.3 kali lipat dibandingkan membran poliamida murni.

3.1 Rekomendasi 1: Membran Poliamida dengan Modifikasi TiO₂ sebagai Antifouling dan Nanoattapulgite sebagai Peningkat Fluks Air.

Modifikasi ini diperkirakan dapat meningkatkan kinerja membran poliamida sebagai membrane pemisah zat warna. Metode yang diperkirakan untuk modifikasi ini terlihat pada Gambar 1.

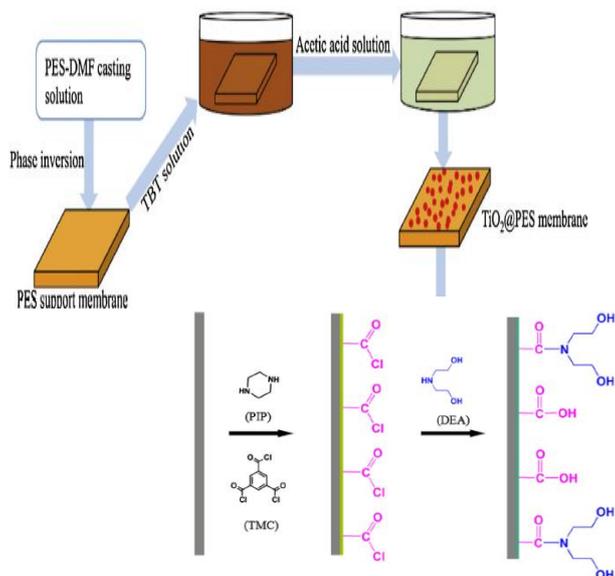
Selain pembentukan nanochannel, pembentukan jalur baru untuk air adalah dengan cara menyediakan gugus fungsi yang terikat pada setiap monomer, sehingga air akan berdifusi melewati membran. Penelitian sebelumnya menggunakan dietanolamin (DEA). Senyawa ini akan berikatan dengan monomer sehingga sifat hidrofilitiknya meningkat. Penambahan DEA terbukti dapat meningkatkan fluks air dan rejeksi terhadap zat warna. Namun DEA tidak dapat mencegah adanya fouling sehingga perlu adanya zat antifouling yaitu TiO₂.



Gambar 1. Modifikasi Membran Poliamida dengan TiO₂ dan Nanoattapulgite

Selain pembentukan nanochannel, pembentukkan jalur baru untuk air adalah dengan cara menyediakan gugus fungsi yang terikat pada setiap monomer, sehingga air akan berdifusi melewati membran. Penelitian sebelumnya menggunakan dietanolamin (DEA). Senyawa ini akan berikatan dengan monomer sehingga sifat hidrofiliknya meningkat. Penambahan DEA terbukti dapat meningkatkan fluks air dan rejeksi terhadap zat warna. Namun DEA tidak dapat mencegah adanya fouling sehingga perlu adanya zat antifouling yaitu TiO_2 .

3.2 Rekomendasi 2: Membran Poliamida dengan Modifikasi TiO_2 sebagai Antifouling dan Dietanolamin (DEA) sebagai Peningkat Fluks Air



Gambar 2. Modifikasi Membran Poliamida dengan Dietanolamin dan TiO_2

Modifikasi ini diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif dalam peningkatan kualitas membran pemisah zat warna. Metode yang dilakukan pada modifikasi ini terlihat pada Gambar 2.

4. Simpulan

Pada artikel ini dikemukakan dua rekomendasi terkait dengan inovasi membran nanofiltrasi dalam aplikasi pemisahan zat warna. Berikut rekomendasi yang diusulkan: Membran Poliamida dengan modifikasi TiO_2 sebagai antifouling dan nanoattapulgit sebagai peningkat fluks air. Membran Poliamida dengan modifikasi TiO_2 sebagai antifouling dan dietanolamin (DEA) sebagai peningkat fluks air.

Pustaka

- Gornicka, B. & Gorecki, L. 2010. TGA/DTG/DSC investigation of thermal ageing effects on polyamide-imide enamel. *Journal of Thermal analysis and Calorimetry*, 101(2): 647–650.
- Kolská, Z., Makajová, Z., Kolářová, K., Slepčková, N.K., Trostová, S., Řezníčková, A., Siegel, J. & Švorčík, V. 2013. Electrokinetic potential and other surface properties of polymer foils and their modifications. *Polymer Science*. InTech.
- Lima, C.A., Goulart, V.P., Córrea, L., Pereira, T.M. & Zzell, D.M. 2015. ATR-FTIR spectroscopy for the assessment of biochemical changes in skin due to cutaneous squamous cell carcinoma. *International journal of molecular sciences*, 16(4): 6621–6630.
- McAuley, W., Lad, M., Mader, K., Santos, P., Tetteh, J., Kazarian, S., Hadgraft, J. & Lane, M. 2010. ATR-FTIR spectroscopy and spectroscopic imaging of solvent and permeant diffusion across model membranes. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 74(2): 413–419.
- Mohammad, A.W., Hilal, N., Pei, L.Y., Amin, I. & Raslan, R. 2011. Atomic force microscopy as a tool for asymmetric polymeric membrane characterization. *Sains Malaysiana*, 40(3): 237–244.
- Murthy, N.S. 2004. Recent developments in polymer characterization using x-ray diffraction. *parameters*, 18: 19.
- Notodarmojo, S., Zulkarnain, T., Mayasanthi, D. & Irsyad, M. 2004. Efek Pretreatment Terhadap Pembentukan Lapisan Cake dan Struktur Membrane pada Membran Ultrafiltrasi Aliran Cross-flow dalam Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak. *Jurnal PROC ITB Sains & Tek*, 36: 2.
- Sethi, S. & Wiesner, M.R. 2000. Cost modeling and estimation of crossflow membrane filtration processes. *Environmental engineering science*, 17(2): 61–79.
- Siregar, J.P., Salit, M.S., Rahman, M.Z.A. & Dahlan, K. 2011. Thermogravimetric Analysis (TGA) and Differential Scanning Calometric (DSC) Analysis of Pineapple Leaf Fibre (PALF) Reinforced High Impact Polystyrene (HIPS) Composites. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 19(1): 161–170.

- Tylkowski, B. & Tsibranska, I. 2015. Overview Of Main Techniques Used For Membrane Characterization. *Journal of Chemical Technology & Metallurgy*, 50(1).
- Xu, Z.-K., Huang, X.-J. & Wan, L.-S. 2009. *Surface engineering of polymer membranes*. Springer Science & Business Media.
- Zahrim, A.Y., Tizaoui, C. & Hilal, N. 2011. Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes: A review. *Desalination*, 266(1): 1–16.
- Zhang, Q., Fan, L., Yang, Z., Zhang, R., Liu, Y., He, M., Su, Y. & Jiang, Z. 2017. Loose nanofiltration membrane for dye/salt separation through interfacial polymerization with in-situ generated TiO_2 nanoparticles. *Applied Surface Science*, 410: 494–504.