

## Karakterisasi Membran Polieter Sulfon yang Berisi Karbon Kulit Biji Jarak sebagai Aditif

### Characterization of Polyether Sulfone Membranes Filled with Activated Carbon from *Jatropha* Seed Shell as Additive

Sri Aprilia<sup>1\*</sup>, Cut Meurah Rosnelly<sup>1</sup>, Sri Ramadhani<sup>1</sup>, Lia Novarina<sup>1</sup>, Umi Fathanah<sup>1</sup>, Fauzi M. Djuned<sup>1</sup> dan Amri Amin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Jln. Tgk. Syech Abdulrauf No. 7, Banda Aceh.

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Universitas Abulyatama, Jln. Blang Bintang Lama Km. 8,5, Lampoh Keude Aceh Besar.

\*E-mail: [sriaprilias@unsyiah.ac.id](mailto:sriaprilias@unsyiah.ac.id)

Terima draft: 2 April 2018; Terima draft revisi: 17 Mei 2018; Disetujui: 7 Juni 2018

#### Abstrak

Minyak goreng adalah bahan konsumsi yang penting dalam rumah tangga dan industri makanan. Sayangnya, sering digunakan berulang kali karena mahal. Tindakan ini mungkin tidak hanya berbahaya bagi kesehatan manusia, tetapi juga mempengaruhi nilai gizi dan mengurangi kualitas makanan. Kualitas reduksi ditunjukkan dengan meningkatnya jumlah peroksida dan jumlah asam lemak. Penelitian ini menggunakan membran PES yang dimodifikasi dengan penambahan karbon aktif dari kulit biji jarak sebagai aditif untuk mengurangi *fouling* dalam minyak goreng olahan. Membran diproduksi dengan metode presipitasi perendaman. Sementara, karbon diaktivasi dengan larutan KOH 0,1% dan dipanaskan dalam *furnace* pada temperatur 600°C. Membran dan karbon aktif dianalisis menggunakan metode FTIR. Analisis SEM menghasilkan membran asimetris dengan lapisan atas berpori dan lapisan bawah padat. Tiga campuran dalam penelitian ini dibuat dengan melarutkan PES yang dimodifikasi dengan karbon aktif pada 0%, 3%, dan 5% (b/b) dalam N-methylpirrolidone. Pada penambahan karbon aktif 5% (b/b) dalam campuran membran menghasilkan koefisien permeabilitas tertinggi (L/P) sebesar 9,682 L m<sup>-2</sup>bar<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, pengurangan bilangan peroksida adalah 45% dan pengurangan asam lemak bebas adalah 72% dapat tercapai.

Kata kunci: bilangan asam bebas, bilangan peroksida, koefisien permeabilitas, membran PES-karbon aktif, minyak goreng bekas.

#### Abstract

Cooking oil is the important consumer goods in household, food stalls and food industries. Unfortunately, it is often used repeatedly as it is costly. This action may not only harmful to human health, but also affects the nutritional value and reduce the quality of the food. The reducing quality is indicated with increasing of peroxide number and fatty acid number. This research applied the mixtures of modified PES membrane and various activated carbon from *jatropha* seed shell as additive to reduce fouling in the processing cooking oil. The membrane was produced with immersion precipitation method. While, the carbon was prepared with washing in 0.1% KOH solution and heating in a furnace at 600°C. The membrane and activated carbon were analyzed using FTIR method. By using a SEM method, an asymmetric membrane with a porous top layer and a dense bottom layer was observed. Three mixtures in this research were made by dissolving modified PES membrane and activated carbon at 0%, 3%, and 5% (w/w) in N-methylpyrrolidone. Adding 5% (w/w) of activated carbon in the mixture resulted the highest permeability coefficient (L/P) of 9.682 L m<sup>-2</sup>bar<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, a 45% reducing of peroxide number and a 72% reducing of free fatty acid number were attained.

Keywords: feroxide number, free fatty acid number, permeability coefficient, PES-activated carbon membrane, used cooking oil.

### 1. Pendahuluan

Minyak goreng sebagai bahan pangan merupakan salah satu kebutuhan primer dalam rumah tangga maupun pengolahan pangan. Minyak goreng yang digunakan

masyarakat saat ini harganya masih cukup mahal, akibatnya minyak goreng digunakan berkali-kali untuk menggoreng, namun sangat disayangkan penggunaan minyak goreng tidak dapat digunakan berulang kali. Penggunaan minyak goreng berulang kali

sangat membahayakan kesehatan serta mempengaruhi nilai gizi dan mutu dari bahan pangan yang digoreng (Dahlan dkk., 2013). Tidak heran apabila minyak goreng bekas hanya dibuang percuma oleh konsumen rumah tangga maupun restoran dan pedagang makanan.

Penggorengan minyak mengalami reaksi degradasi selama proses penggorengan yang disebabkan oleh panas, udara dan air, sehingga mengakibatkan terjadinya oksidasi, hidrolisis, dan polimerisasi. Reaksi oksidasi juga dapat terjadi selama masa penyimpanan. Minyak yang tinggi kandungan lemak tak jenuhnya memiliki nilai tambah hanya pada gorengan pertama saja, sementara yang tinggi asam lemak jenuhnya bisa lebih lama lagi, meski pada akhirnya akan rusak juga. Oleh proses penggorengan sebagian ikatan rangkap akan menjadi jenuh. Penggunaan yang lama dan berkali-kali dapat menyebabkan ikatan rangkap teroksidasi, membentuk gugus peroksida dan monomer siklik (Ramdja dan Fuad, 2010).

Indikator kerusakan minyak antara lain adalah angka peroksida dan asam lemak bebas. Bilangan peroksida adalah banyaknya mili ekuivalen peroksida dalam 1000 gram lemak. Bilangan peroksida merupakan nilai terpenting untuk menentukan derajat kerusakan pada minyak atau lemak (Ketaren, 1986).

Salah satu metode yang digunakan untuk menurunkan bilangan peroksida adalah dengan membran. Proses membran dipilih karena tidak menggunakan senyawa kimia dan temperatur yang tinggi. Namun dalam pengolahan minyak goreng bekas, fluks pada membran akan mengalami penurunan karena minyak goreng bekas memiliki viskositas yang tinggi sehingga akan menyebabkan *fouling* pada membran. Jadi membran perlu dibersihkan. Hwang dkk. (2014) telah melakukan kajian untuk menghilangkan *fouling* pada membran yaitu dengan penambahan aditif karbon aktif dengan

Variabel	komposisi		
	M1	M2	M3
Polimer (%)	18	18	18
karbon aktif (%)	0	3	5
pelarut NMP (%)	82	79	77

berbagai ukuran. Penambahan aditif dalam polimer membran selain dapat mengatasi masalah *fouling* juga dapat meningkatkan

sifat kimia dan fisika membran, menaikkan efisiensi membran dan juga meningkatkan efisien filtrasi (Hwang dkk., 2014). Shao dkk. (2017) menyatakan penambahan karbon aktif dalam membran merupakan bahan anti *fouling*. Selain sebagai anti *fouling*, penambahan partikel karbon dalam ukuran nano juga akan meningkatkan permeabilitas dan reaktifitas katalitik (Theresa dkk., 2011)

Beberapa kajian telah dilakukan untuk penjernihan minyak dengan menggunakan membran. Namun belum optimal karena dapat membentuk *fouling* pada membran. Polietersulfon (PES) dipilih karena merupakan salah satu jenis polimer yang sangat populer dan luas digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran jenis ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi. Ini dikarenakan karakteristik dari PES yang stabil pada temperatur yang tinggi mencapai 210°C. Keunggulan lain PES adalah mempunyai toleransi pH yang luas baik saat pembuatan maupun saat aplikasi, mempunyai resisten yang baik terhadap klorin, serta mudah untuk membuat membran dengan berbagai variasi konfigurasi dan modul (Zhao dkk., 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk penurunan bilangan peroksida dalam minyak goreng bekas dengan menggunakan membran PES yang ditambahkan karbon aktif dari kulit biji jarak sebagai aditif. Selain itu untuk mendapatkan formulasi modifikasi membran dengan kinerja terbaik. Jadi membran dapat digunakan untuk menghilangkan bilangan peroksida pada minyak goreng bekas dan minyak dapat kembali digunakan.

## 2. Metodologi Penelitian

Membran yang digunakan adalah PES dengan pelarut N-methylpirrolidone (NMP) dan non-pelarut aquades. Sebagai aditif ditambahkan karbon aktif dari kulit biji jarak yang diperoleh dari Provinsi Aceh. Komposisi membran PES yang diisi aditif dari karbon aktif kulit biji jarak seperti diuraikan pada Tabel 1.

### 2.1. Prosedur penelitian

Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu pengaktifan karbon, pembuatan membran PES yang ditambahkan karbon aktif dan aplikasi membran yang telah dibuat untuk penjernihan minyak goreng bekas.

Tabel 1. Desain membran PES

#### 2.1.1. Proses Pengaktifan Karbon

Karbon dari kulit biji jarak yang digunakan sebagai aditif adalah yang lolos dari ayakan 325 mesh dengan ukuran partikel  $<44 \mu\text{m}$ . Karbon ini dilakukan aktivasi secara kimia menggunakan larutan basa yaitu KOH. Adapun proses pengaktifan karbon merujuk kepada penelitian yang dilakukan oleh (Ji dkk., 2007) adalah sebagai berikut: Karbon dari kulit biji jarak direndam dalam larutan KOH selama 2 jam. Kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu  $130^\circ\text{C}$  hingga berat tetap 0,5%. Karbon yang sudah terendam dalam KOH dilakukan penimbangan setiap 30 menit kemudian didinginkan pada suhu ruang. Karbon yang sudah aktif dicuci dengan distilat yang mengandung 0,1 mol/L HCl untuk menghilangkan alkali sisa. Kemudian dilakukan pengadukan selama 1 jam. Karbon dicuci dengan air panas yang bersuhu  $85^\circ\text{C}$  sampai pH larutan infiltratif netral lalu dikeringkan dalam oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 24 jam.

### 2.1.2. Pembuatan membran PES

Membran dibuat dengan proses inversi fasa yang terdiri dari polimer PES dan karbon aktif dari kulit biji jarak. Membran dibuat dengan variasi seperti pada Tabel 1. Pemilihan PES 18% merujuk pada (Arahman dkk., 2016).

Pembuatan membran sebagai berikut: Pembuatan larutan dope yaitu: PES dan karbon aktif dilarutkan dalam larutan polimer dengan menggunakan pelarut NMP dan dilakukan pengadukan hingga PES melarut. Membran dibuat secara *non-solvent induced separation* (NIPS) dengan metode *immersion precipitation*. Setelah larutan bercampur kemudian dicetak pada plat kaca, dan kemudian dimasukkan kedalam media yang berisi larutan *non-solvent* (aquades). Membran yang sudah terbentuk dilakukan annealing pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Membran yang sudah stabil dapat disimpan sebelum digunakan untuk proses selanjutnya. Kemudian membran dilakukan karakterisasi.

### 2.1.3. Karakterisasi membran

Karakterisasi dilakukan terhadap karbon aktif dan membran yang diisi karbon aktif dari kulit biji jarak. Karbon aktif yang dilakukan adalah analisis gugus fungsi dengan FTIR, dan struktur karbon aktif dengan SEM.

Membran yang telah diisi dengan karbon aktif dilakukan uji permeabilitas mengikuti prosedur Aprilia dkk. (2013). Analisis FTIR dilakukan untuk menentukan gugus fungsi

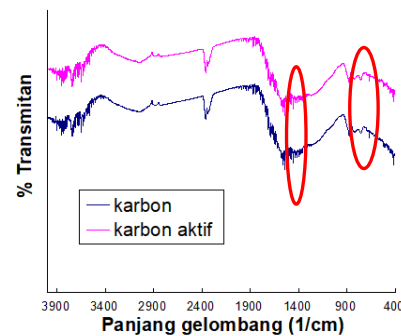
membran. Analisis struktur melintang membran dilakukan dengan SEM (Arifin dan Aprilia, 2014). Minyak goreng bekas sebelum dan sesudah dilakukan penyaringan dengan membran PES yang diisi karbon aktif dari biji jarak dianalisis bilangan peroksida dan bilangan asam.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Morfologi Karbon aktif dari kulit biji jarak

#### 3.1.1. Gugus fungsi karbon dan karbon aktif dari kulit biji jarak

Gambar 1 menunjukkan hasil analisis FTIR karbon dari kulit biji jarak sebelum dan sesudah aktivasi. Hasil analisis FTIR terlihat gugus fungsional yang terdapat pada karbon adalah gugus C=C tipe senyawa cincin aromatik dengan, C-H tipe senyawa alkana, C-H tipe senyawa cincin aromatik. Panjang bilangan gelombang dari setiap gugus berturut-turut  $1531 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1342 \text{ cm}^{-1}$ , dan  $877 \text{ cm}^{-1}$ .

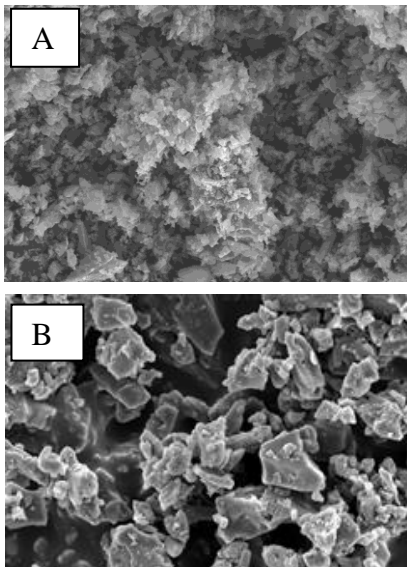


Gambar 1. FTIR karbon dan karbon aktif  
Gugus fungsional yang ada pada karbon aktif relatif sama yaitu hanya terdapat perbedaan pada panjang bilangan gelombang adanya gugus C=C tipe senyawa cincin aromatik dengan, C-H tipe senyawa alkana, dan C-H tipe senyawa cincin aromatik. Untuk panjang bilangan gelombang tersebut dari setiap gugus fungsional berturut-turut adalah  $1535 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1340 \text{ cm}^{-1}$ , dan  $879 \text{ cm}^{-1}$ .

#### 3.1.2. Analisis SEM karbon aktif

Gambar 2 adalah struktur permukaan antara karbon dari kulit biji jarak sebelum dan sesudah aktivasi dengan larutan KOH. Hasil analisis SEM tersebut menunjukkan bahwa pori-pori pada gambar 2A lebih kecil dan setelah di aktivasi pori-pori terlihat lebih besar pada Gambar 2B. Karbon keduanya memberikan tekstur kasar dengan per-

mukaan heterogen dan berbagai ukuran pori-pori yang terdistribusi secara acak.



Gambar 2. SEM karbon dan karbon aktif

Sebelum aktivasi permukaan karbon kulit biji jarak pada permukaan utama yang digunakan untuk aktivasi adalah planar, terutama terdiri dari pori-pori makro dan meso tanpa struktur pori yang lebih dalam. Ini menunjukkan bahwa pada tahap karbonisasi terutama menciptakan karbon makro dan mesopori (Xin-hui dkk., 2011). Sedangkan pada Gambar 2B, menunjukkan bahwa pori-pori lebih besar, namun kedua gambar tersebut karbon aktif dan *carbon black* dalam bentuk bertumpuk-tumpuk (*agglomeration*) dan tidak terpisah.

### 3.2. Permeabilitas Membran

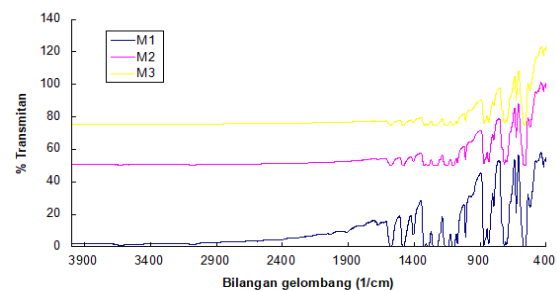
Koefisien permeabilitas membran ( $L_p$ ) adalah kemampuan membran untuk melewatkan air murni (air distilat) berdasarkan kenaikan tekanan (Aprilia dan Amin, 2011). Pelarut murni yang digunakan adalah air distilat. Koefisien permeabilitas masing-masing membran adalah M1 1,813 L/m<sup>2</sup>.jam.bar, M2 5,711 L/m<sup>2</sup>.jam.bar, dan M3 9,682 L/m<sup>2</sup>.jam.bar. Penambahan aditif karbon aktif dari kulit biji jarak pada membran PES meningkatkan fluks yang dihasilkan sehingga  $L_p$  membran juga akan meningkat.

Membran M1 memiliki  $L_p$  terkecil dari membran M2 dan M3 berturut-turut. Berdasarkan nilai koefisien permeabilitas, membran M2 dan M3 merupakan membran ultrafiltrasi. Sedangkan membran M1 termasuk pada membran Reverse Osmosis. Penambahan partikel pengisi pada membran

polimer akan meningkatkan afinitas membran jika dibandingkan dengan tanpa pengisi.

### 3.2. Gugus fungsional membran

Gambar 3 adalah analisis FTIR gugus fungsional polimer PES dengan menggunakan pelarut NMP dan membran dengan berbagai variasi penambahan karbon aktif kulit biji jarak. Gugus fungsi yang teridentifikasi pada membran M1 menggunakan pelarut NMP adalah gugus C-H dengan tipe senyawa alkena, C=C tipe senyawa cincin aromatic, dan C-H tipe senyawa alkana, serta dengan bilangan gelombang berturut-turut 3095 cm<sup>-1</sup>, 1571 cm<sup>-1</sup>, dan 1408 cm<sup>-1</sup>.

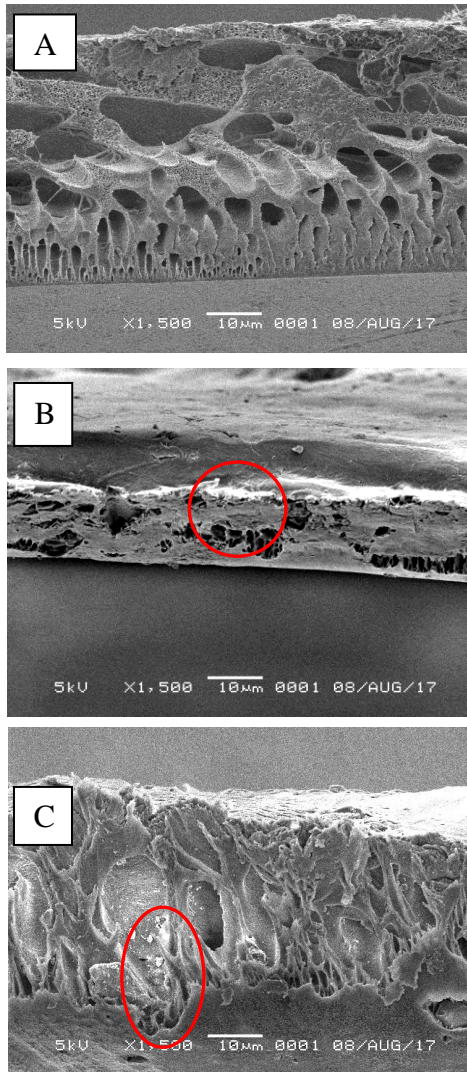


Gambar 3. Analisis FTIR membran

Membran hasil modifikasi dengan variasi penambahan jumlah karbon aktif 3% (membran M2) dan 5% (membran M3) memiliki gugus fungsional yang relatif sama dengan gugus fungsional yang dimiliki oleh membran M1 yaitu gugus C-H dengan tipe senyawa alkena, C=C tipe senyawa cincin aromatic, dan C-H tipe senyawa alkana, perbedaannya hanya didapatkan pada intensitas serapan. Pada membran M2 dengan variasi penambahan karbon aktif 3% bilangan gelombang yang didapatkan berturut-turut 3095 cm<sup>-1</sup>, 1575 cm<sup>-1</sup>, dan 1406 cm<sup>-1</sup>. Sedangkan untuk membran M3 dengan penambahan karbon aktif 5% memiliki panjang bilangan gelombang berturut-turut 3095 cm<sup>-1</sup>, 1577 cm<sup>-1</sup>, dan 1406 cm<sup>-1</sup>.

### 3.3. Morfologi membran

Morfologi membran PES yang diisi karbon aktif dari kulit biji jarak dianalisis dengan menggunakan peralatan SEM. Gambar 4. menunjukkan hasil analisis SEM pada penampang melintang (*cross section*) membran. Dari ketiga membran Gambar 4. A, B, dan C terlihat pada bagian atas membran adalah asimetrik yaitu adanya lapisan atas yang lebih rapat (*dense*) dari lapisan bawah membran.



Gambar 4. SEM penampang melintang membran

Karbon aktif pada membran lebih banyak terlihat pada Gambar 4.C pada lingkaran merah dari pada Gambar 4.B. Sedangkan pada Gambar 4.A merupakan membran tanpa adanya karbon aktif. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Kusworo dkk. (2010), bahwa karbon aktif dapat ditambahkan ke dalam membran sebagai anti fouling, namun penambahan yang berlebih akan mengakibatkan permukaan membran pecah.

### 3.4. Bilangan Asam dan Bilangan peroksida

Minyak goreng bekas sebelum dan sesudah dilewatkan pada membran komposit PES dilakukan analisis terhadap asam lemak bebas dan bilangan peroksida. Hasil analisis

asam lemak bebas dan bilangan peroksida seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis asam lemak bebas dan bilangan peroksida

Sampel	Asam lemak bebas (% FFA)	Bilangan peroksida (meq/kg)
Minyak goreng bekas	1,54	13,30
Membran M1	1,46	9,30
Membran M2	1,10	3,67
Membran M3	0.84	5,00

Minyak goreng bekas memiliki asam lemak bebas yang tinggi dan bilangan peroksida yang tinggi. Bilangan-bilangan ini melebihi dari batas standar yang diizinkan pemerintah yaitu sebesar 0,3% untuk bilangan asam lemak bebas dan 2 meq/kg untuk bilangan peroksida. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan peroksida dalam minyak bekas mampu diturunkan oleh membran sebesar 72%. Yustina dan Hartini (2011) menyatakan bahwa penurunan bilangan peroksida lebih besar dengan menggunakan membran ultrafiltrasi dari pada membran nano filtrasi, hal ini dikarenakan proses filtrasi dengan membran nanofiltrasi membutuhkan waktu filtrasi lebih lama sehingga mengalami waktu kontak dengan udara yang lebih dan menyebabkan terjadinya proses degradasi yang meningkatkan bilangan peroksida.

Hasil penelitian menunjukkan penurunan kadar asam lemak bebas mengalami penurunan sebesar 45%, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Dahlan dkk. (2013) sebesar 81,81%. Penggunaan karbon aktif sebagai aditif pada membran tidak hanya mampu menurunkan bilangan peroksida tetapi juga mampu menurunkan bilangan asam lemak bebas.

### 4. Kesimpulan

Dari hasil analisis diperoleh  $L_p$  membran terbesar pada membran M3 yaitu 9,682 L/m<sup>2</sup>.jam.bar. Semakin besar jumlah karbon aktif yang ditambahkan maka semakin besar koefisien permeabilitas membran yang dihasilkan. Analisis FTIR menunjukkan membran dengan penambahan karbon aktif memiliki perbedaan pada intensitas serapan. Membran M3 merupakan membran terbaik dari M1 dan M2 dalam menyisihkan asam lemak bebas dan bilangan peroksida. Membran dengan penambahan karbon yang diaktifkan masih lebih baik dari membran tanpa karbon aktif. Kinerja ketiga membran



masih belum memenuhi standar minyak goreng yang diizinkan, hal ini dapat dilakukan perlakuan pendahuluan terhadap minyak goreng bekas sebelum di pisahkan dengan membran.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Kreatifitas Mahasiswa 2017, Direktorat Kemahasiswaan, Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah membantu dana sehingga penelitian ini dapat selesai.

### Daftar Pustaka

- Aprilia, S., Amin, A. (2011) Sintesis dan karakterisasi membran untuk proses ultrafiltrasi, *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 8(2), 84.
- Aprilia, S., Arifin, B., Anugrah, R. R., Safira, I. (2013) Kombinasi Proses Koagulasi dan Sistem Ultrafiltrasi dengan Membran Poliakrilonitril untuk Pemurnian Air Berwarna, *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 9(4), 173 – 179.
- Arahman, N., Arifin, B., Razi, F. (2016) Profil Permeabilitas Berdasarkan Struktur Morfologi Membran Polietersulfon pada Pemekatan Larutan Tokoferol, *AGRITECH*, 36(4).
- Arifin, B., Aprilia, S. (2014) Membran polisulfon untuk pengolahan air: dengan dan tanpa pra perlakuan koagulasi secara ultrafiltrasi, *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 10(1), 49 – 54.
- Dahlan, H.M., Siregar, H.P., Yusra, M. (2013) Penggunaan Karbon aktif dari Biji Kelor Dapat Memurnikan Minyak Jelantah, *Jurnal Teknik Kimia*, 19(3), 44 – 53.
- Hwang, L-L., Ming-YenWey, Chen, J-C. (2014) Effects of membrane compositions and operating conditions on the filtration and backwashing performance of the activated carbon polymer composite membranes, *Desalination*, 352, 181 – 189.
- Ji, Y., Li, T., Zhu, L., Wang, X., Lin, Q. (2007) Preparation of activated carbons by microwave heating KOH activation, *Applied Surface Science*.
- Ketaren, S. (1986) *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, Jakarta: Universitas Indonesia.
- Kusworo, T.D., Ismail, A.F., Budiyo, Widiyasa, I.N., Johari, S., Sunarso (2010) CO<sub>2</sub> removal from biogas using carbon nanotube mixed matrix membranes, *Internat. J. of Sci. And Eng*, 1(1), 1 – 6.
- Ramdja, A., Fuad (2010) pemurnian minyak jelantah menggunakan ampas tebu sebagai adsorben, *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijaya*, 17(1).
- Shao, S., Cai, L., Li, K., Li, J., Du, X., Li, G., Liang, H. (2017) Deposition of powdered activated carbon (PAC) on ultrafiltration (UF) membrane surface: influencing factors and mechanisms, *Journal of Membrane Science*, 530, 104 – 111.
- Theresa, M., Pendergast, M., Eric, M.V., Hoek, V. (2011) A review of water treatment membranes technologies, *Eng. Environ. Sci*, 4, 1946 – 1971.
- Xin-hui, D., Srinivasakannan, C., Li-bo, Z., Zheng-yong, Z. (2011) Perparation of Activated Carbon from Jatropha Hull with Microwave Heating: Optimization Using Response Surface Methodology, *Fuel Processing Technology*, 92, 394 – 400.
- Yustina, Hartini (2011) Adsorpsi minyak goreng bekas menggunakan arang aktif dari sabut kelapa, *Laporan Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia Issn 1693-3993*, 1(5), Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Zhao, W., Huang, J., Fang, B., Nie, S., Yi, N., Su, B., Li, H., Zhao, C. (2011) Modication of polyethersulfone membrane by blending semi interpenetrating network polymeric nanoparticles, *Journal of Membrane Science*, 369, 258 – 266.

