Sintesis Membran Kitosan-Silika Abu Sekam Padi Untuk Penurunan Logam Berat Cu dengan Proses Ultrafiltrasi

Deasy Amanda Valentine¹, Sri Aprilia^{2*}, Fauzi M. Djuned²

¹Program Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf 7, Fakultas teknik, Universitas Syiah Kuala
Darussalam, Banda Aceh, 23111

*Koresponden Email : sriaprilialia@unsyiah.ac.id

Diterima : 14 Januari 2019

Disetujui: 25 Januari 2019

Abstract

This study chitosan membranes were made by phase inversion method by adding rice husk ash silica additives to the casting solution. This study aims to create and evaluate the characteristics of chitosan-silica rice husk ash membranes for application in reducing Cu heavy metals. Chitosan membrane modification is needed to produce membranes with better character, for example increasing membrane stability, reducing pore size so that the separation of molecules or rejection of macromolecules from a membrane solution is more effective. The concentration of chitosan-silica rice husk ash was varied at 20, 19, 17 and 15 (% by weight). The resulting membrane was further characterized for morphological structure parameters by scanning electron microscopy (SEM), fourier transform infrared (FTIR). Flux and solution rejection using dead-end filtration modules. The SEM test results show that the membrane has pores with asymmetric structures. Membrane performance test on Cu metal has a rejection value of 38%, 39%, 46% and 62% with flux gain reaching 0.4135 to 15.4377 L / hr.

Keywords : *chitosan, silica rice husk ash, flux, rejection, Cuprum, Ultrafiltration.*

Abstrak

Pada penelitian ini membran kitosan telah dibuat dengan metode inversi fasa dengan penambahan aditif silika abu sekam padi ke dalam larutan *casting*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengevaluasi karakteristik membran kitosan-silika abu sekam padi untuk aplikasi pada penurunan logam berat Cu. Modifikasi membran kitosan diperlukan untuk menghasilkan membran dengan karakter yang lebih baik, misalnya meningkatkan kestabilan membran, memperkecil ukuran pori sehingga pemisahan molekul-molekul atau rejeksi makromolekul dari suatu larutan oleh membran lebih efektif. Konsentrasi membran kitosan-silika abu sekam padi divariasikan pada 20, 19, 17, dan 15 (% berat). Membran yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi untuk parameter struktur morfologi dengan *scanning electron microscopy* (SEM), *fourier transform infrared* (FTIR). Fluks dan rejeksi larutan menggunakan modul filtrasi *dead-end*. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa membran mempunyai pori dengan struktur asimetrik. Uji kinerja membran terhadap logam Cu mempunyai nilai rejeksi yaitu 38%, 39%, 46% dan 62% dengan perolehan fluks mencapai 0,4135 hingga 15,4377 L/jam.bar

Kata kunci : *kitosan, silika abu sekam padi, fluks, rejeksi, Cuprum, ultrafiltrasi*

1. Pendahuluan

Air adalah sumber kebutuhan pokok yang sangat penting bagi semua makhluk hidup yang ada dimuka bumi ini, sehingga kebutuhannya sangat penting bagi pengembangan kehidupan manusia terutama air bersih. Menurut Safiah (2014) hampir satu milyar penduduk di dunia tidak memiliki akses air bersih yang siap untuk diminum. Pada musim kemarau, secara kuantitas air akan berkurang dan secara kualitas air lebih bau dan tercemar karena konsentrasi kotorannya meningkat. *World Water Council* memperkirakan bahwa pada tahun 2030 hampir empat milyar penduduk dunia akan kekurangan air. Secara umum pemakaian air digunakan pada tiga sektor yaitu pertanian mencakup 70%, sektor industri cakupan pemakaian nya 19% dan sektor domestik 11% (Alimohammadi, dkk., 2013). Untuk menghindari bahaya yang mengganggu kesehatan

sebelum dibuang ke lingkungan ada baiknya dilakukan penanganan untuk menghilangkan logam berat beracun dari air limbah. Keberadaan logam berat ini menjadi perhatian penting karena senyawa ini bersifat beracun, tidak dapat terurai dan dapat terakumulasi dalam organisme makhluk hidup. Logam berat ini akan masuk melalui pernafasan ke dalam tubuh, tertelan melalui makanan juga dapat teradsorpsi kedalam kulit (Ozdes, dkk., 2011). Pencemaran lingkungan merupakan salah satu dampak negatif yang disebabkan oleh perkembangan teknologi industri yang pesa. Salah satu pencemaran lingkungan seringkali terjadi di wilayah perairan yang merupakan sumber kehidupan makhluk hidup.

Logam berat Cuprum (Cu) merupakan salah satu pencemar lingkungan yang dihasilkan dari berbagai kegiatan industri. Menurut Kesumawati (2014) berkurangnya akses air yang mudah dan aman di berbagai wilayah dunia dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya adalah perubahan iklim di dunia dan akibat dari polusi. Selain itu lebih 80 persen (%) air yang telah digunakan tidak dikumpulkan dan tidak diolah kembali. Beberapa tahun terakhir telah banyak dilakukan penelitian seputar polimer alam (biopolimer) yang mampu mengikat logam berat limbah melalui pembentukan senyawa kompleks sehingga dapat berfungsi sebagai adsorben untuk memisahkan logam berat dari air meskipun konsentrasinya sangat rendah. Salah satu biopolimer yang saat ini banyak diteliti sebagai adsorben untuk logam berat dari air limbah adalah kitosan. Kitosan adalah produk alam yang merupakan turunan kitin. Kitin dapat diubah menjadi kitosan dengan menggunakan reaksi sederhana. Kitin merupakan senyawa karbohidrat yang termasuk dalam polisakarida, tersusun atas monomer-monomer aseti glukosamin yang saling berikatan dengan ikatan 1,4 beta membentuk suatu unit polimer linier yaitu beta -(1,4)-N-asetil-glukosamin.

Kitosan merupakan biopolimer yang dapat digunakan sebagai bahan pembuat membran, akan tetapi membran dengan berbahan dasar kitosan saja tidak dapat langsung digunakan karena strukturnya yang sangat rapuh. Dengan memodifikasi membran kitosan diharapkan dapat menghasilkan membran dengan karakter yang lebih baik, misalnya meningkatkan kestabilan membran, memperkecil ukuran pori-pori sehingga pemisahan molekul-molekul atau rejeksi makromolekul dari suatu larutan oleh membran lebih efektif (Yunianti, Maharani, 2012). Pengikat silangan kitosan adalah solusi yang ditawarkan untuk mengatasi permasalahan sifat mekanik dari kitosan.

Partikel silika dilaporkan merupakan porogen yang ideal digunakan untuk membuat membran komposit kitosan yang terkontrol porositasnya dan mempunyai sifat mekanik yang baik. Partikel silika disini diperoleh dari sekam padi yang berasal dari limbah yang berlimpah khususnya di negara agraris. Sekam padi merupakan salah satu sumber penghasil silika terbesar sebanyak 87%-97% berat kering setelah mengalami pembakaran sempurna. Selain didukung oleh jumlah yang melimpah, silika sekam padi juga dapat diperoleh dengan sangat mudah dan biaya yang relatif murah. Silika yang dihasilkan dari abu sekam padi hasil pembakaran merupakan silika amorf (Umeda, 2008). Silika amorf dalam berbagai kondisi dianggap lebih reaktif dibandingkan silika kristalin dan memiliki struktur *spherical* yang rumit.

Struktur rumit tersebut menyebabkan luas area permukaan yang tinggi, biasanya di atas 3 m²/g (Kirk-Othmer, 1984). Oleh karena itu silika amorf dapat dibuat menjadi silika sol, silika gel, silika endapan dan silika pirogenik. Silika juga dapat dimanfaatkan untuk bahan katalis, campuran pada tinta, bahan pengeras beton, komponen deterjen dan sabun, serta sebagai unsur pengeras pada pembuatan batu bata. Silika dari sekam padi dapat diperoleh dengan berbagai cara. Secara sederhana, proses isolasi silika dapat dilakukan dengan cara pembakaran langsung. Namun, metode pembakaran ini jika tidak disertai dengan perlakuan yang tepat akan menghasilkan abu yang sudah mengalami transformasi menjadi silika kristalin. Hal ini disebabkan oleh keberadaan senyawa-senyawa pengotor inorganik seperti senyawa-senyawa mineral yang mengandung kalium (K) dan sodium (Na) yang dapat menurunkan titik leleh silika sehingga dapat mempercepat perubahan fasa amorf menjadi kristalin (Umeda, 2008). Senyawa-senyawa pengotor inorganik ini dapat dihilangkan dari sekam padi melalui proses *leaching* menggunakan larutan asam untuk mendapatkan silika dengan kemurnian yang tinggi sebelum proses pengabuan. Para peneliti pendahulu melakukan proses perlakuan awal sekam padi menggunakan HCl (Sapei 2011), H₂SO₄ dan asam sitrat (Umeda, 2008), asam asetat (Rafiee, 2012), HNO₃ dan asam oksalat (Chandrasekhar, 2005), sebelum melakukan proses thermal. Dalam pembentukannya, struktur pori membran komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi polimer, bahan pembentuk dinding yang sengaja ditambahkan untuk memperbaiki sifat mekanik membran.

Penelitian ini membuat membran kitosan-silika, sumber silika didapat dari sekam padi dengan perlakuan awal berupa proses *leaching* menggunakan asam asetat sebelum proses pengeringan untuk

memperoleh silika dengan kemurnian yang lebih tinggi. Asam yang digunakan adalah asam organik yaitu asam asetat (CH_3COOH). Asam organik ini bersifat tidak korosif dan lebih ramah lingkungan (Sapei, dkk., 2015). Melihat potensi dari silika dan kitosan, kedua material tersebut dapat dibuat membran sebagai salah satu material yang dapat digunakan dalam proses filtrasi dan manfaat lainnya. Membran kitosan-silika mempunyai prospek yang sangat baik, karena akan berdampak positif pada pengurangan impor membran yang selama ini dilakukan. Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, pada penelitian ini akan dilakukan pemisahan logam berat Cu menggunakan membran kitosan-silika.

2. Metodologi

2.1 Bahan dan Alat

Serbuk kitosan ukuran 300 mesh, BM = 100-200KDa dan derajat asetilasinya 94,88% yang digunakan sebagai polimer utama, CH_3COOH glacial pro analisis (Merck, Jerman) digunakan sebagai pelarut organik, NaOH pro analisis (Merck, Jerman) digunakan sebagai larutan pelepasan membran (Non pelarut), Larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (Merck, Jerman) 1000 mg/L Cu dalam 1 L HNO_3 digunakan sebagai larutan artifisial logam Cu, aquadest adalah cairan pembilas untuk menghilangkan sisa alkali pada membran. Kertas saring digunakan sebagai penyaring. Alat proses yang digunakan adalah erlenmeyer, beaker gelas, hot plate, magnetik stirer untuk mencampur dan mengaduk larutan membran. Pelat kaca digunakan untuk mencetak membran. Oven untuk mengeringkan abu sekam padi. Modul ultrafiltrasi digunakan sebagai alat utama untuk proses filtrasi air murni, logam berat pada limbah.

2.2 Pembuatan Membran

Sekam padi sebelumnya dibersihkan dari kotoran seperti jerami, ranting dan sebagainya. Kemudian ditimbang sebanyak 10 gr dimasukkan ke dalam reaktor berpengaduk bervolume 1000 ml. Kemudian ditambahkan larutan asam asetat glasial 3 M. Proses leaching dilakukan selama 60 menit pada suhu ruang. Sekam padi yang telah mengalami perlakuan awal kemudian disaring dan di cuci dengan akuades beberapa kali hingga pH nya normal. Lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Abu silika yang diperoleh kemudian di ayak dengan ukuran 325 mesh (Handayani dkk, 2014). Larutan kitosan 15% (b/v) dibuat dengan melarutkan 2,7 gram kitosan dan dilarutkan dalam 100 mL CH_3COOH 2% kemudian ditambahkan silika abu sekam padi 5% (b/v) sebanyak 13,2 gram lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Kemudian di cetak pada pelat kaca, selanjutnya dikeringkan pada suhu ruang selama 48 jam. Untuk proses pelepasan membran dilakukan dengan melakukan perendaman menggunakan NaOH 5% selama 1 jam kemudian dibilas menggunakan aquades hingga netral untuk menghilangkan sisa alkali pada membran.

2.3 Karakterisasi Membran

Karakterisasi terhadap membran kitosan-silika abu sekam padi yang dilakukan adalah pengujian fluks air murni, uji morfologi membran dan uji gugus fungsi permukaan membran. Penentuan fluks dan permeabilitas dilakukan dengan cara melewati air distilat melalui membran yang ditempatkan di dalam serangkaian peralatan modul ultrafiltrasi (Gambar 1). Membran berbentuk datar dimasukkan ke dalam peralatan modul dengan luas efektif membran $18,85\text{ cm}^2$ dan bekerja pada tekanan 1 bar; 1,5 bar; 2 bar; 2,5 bar dan 3 bar.

Gambar 1. Rangkaian peralatan modul ultrafiltrasi

Morfologi permukaan membran diukur menggunakan *Atomic Force Microscopy* (SEM). Untuk mengamati perubahan struktur kimia pada membrane kitosan dengan dan tanpa penambahan aditif silika abu sekam padi menggunakan FTIR 8100A *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer* (Shimadzu Co., Japan). Sampel membran dikeringkan pada temperatur ruangan dengan menggunakan desikator selama dua jam. Selanjutnya sampel ditempatkan di atas *sample holder*. Data absorbansi diukur pada interval bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1}

2.4 Kinerja Membran

Evaluasi kinerja membran dilakukan dengan mengukur rejeksi dari logam cuprum yang terkandung dalam air. Larutan kalibrasi Cu digunakan sebagai sampel senyawa artifisial dari logam berat cuprum. Larutan Cu dengan konsentrasi 2 ppm dilewatkan melalui membran dengan tekanan 1; 1,5; 2; 2,5 dan 3 bar. Filtrasi dilakukan selama 1 jam. Volume aliran yang melewati pori membran (permeat) persatuan luas membran persatuan waktu dinyatakan sebagai fluks. Fluks dapat ditulis sebagai suatu persamaan, yaitu (Aprilia dkk., 2013):

$$J_v = V / (A \cdot t) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

J_v = fluks ($\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$)

t = waktu filtrasi (jam)

A = luas permukaan membran (m^2)

V = volume permeat (L)

Konsentrasi ion logam cuprum dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Persentasi rejeksi dihitung menggunakan persamaan

$$R(\%) = 1 - \frac{C_{\text{permeat}}}{C_{\text{umpan}}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

R = persentasi tahanan

C_{permeat} = konsentrasipartikel dalam permeat

C_{umpan} = konsentrasi partikel dalam umpan

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Fluks dan Koefisien Permeabilitas Membran

Berdasarkan hasil dari penelitian menunjukkan fluks membran K_1 pada konsentrasi 19% paling besar dibandingkan membran K_2 dengan konsentrasi 17%. Fluks tersebut lebih tinggi karena membran K_1 memiliki pori yang lebih besar dibandingkan dengan membran K_2 . Konsentrasi aditif yang semakin bertambah akan mengurangi nilai fluks karena semakin sedikit jumlah pori yang terbentuk.

Koefisien permeabilitas merupakan kemampuan membran melewatkan air murni berdasarkan tekanan operasi pada membran. Semakin tinggi nilai fluks air murni maka semakin mudah *solute* untuk melewati membran. Dari nilai koefisien permeabilitas air murni yang diperoleh dapat dikategorikan bahwa semua membran yang diuji termasuk ke dalam *range* batasan koefisien permeabilitasnya adalah 1-50 $\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$.

Gambar 2. Hubungan antara fluks air murni dan tekanan membran yang dimodifikasi dengan semua variasi

Tabel 1. Data koefisien permeabilitas air murni (L_p) pada membran kitosan-silika abu sekam padi

No	Membran	Permeabilitas ($L \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot bar^{-1}$)
1	K_0	1.3673
2	K_1	2.7505
3	K_2	1.2631
4	K_3	1.7943

3.2 Morfologi Membran

Scanning Electron Mikroskop (SEM) digunakan sebagai alat analisis untuk mengamati struktur morfologi membran yang terbentuk. Hasil dari uji ini merupakan foto penampakan permukaan dan melintang membran dengan menggunakan mikroskop elektron.

Hasil pengamatan morfologi membran yang dihasilkan menggunakan SEM dapat dilihat dari permukaan pori yang terlihat merata pada setiap membran, untuk yang sama dengan konsentrasi yang berbeda, dapat terlihat bahwa pori-pori semakin rapat (gambar c dan d). Pada membran dapat terlihat pori-pori yang terdistribusi merata dipermukaan membran ini disebabkan karena adanya penambahan aditif yaitu silika abu sekam padi. Struktur pori membran yang lebih rapat akan memiliki tahanan perpindahan masa yang lebih besar, sehingga permeabilitas air hasil analisa SEM berdasarkan *cross section* area menunjukkan bahwa struktur membran berbentuk seperti karang (*sponge*). Untuk semua membran mempunyai struktur yang sama, lapisan atas yang *dense* dan pori-pori yang tidak homogen (asimetrik) menunjukkan bahwa membran tersebut asimetrik.

Pandis dkk, (2014) menyatakan bahwa morfologi permukaan membran menjadi tidak merata dan lapisan padat yang terbentuk setelah proses interfacial polimerisasi. Pembentukan permukaan aktif ini adalah faktor yang paling menentukan pada pemisahan proses ini merupakan mekanisme *instantaneous demixing* sehingga akan menghasilkan membran berpori (*porous membrane*), hal ini terjadi karena adanya afinitas antara pelarut dan air sangat kuat.

Gambar 3. Bagian melintang membran kitosan-silika: a. K_0 (5000x), b. K_1 (5000x), c. K_2 (5000x), d. K_3 (5000x).

3.3 Analisis Gugus Fungsi Membran

Analisis *infrared spectroscopy* merupakan teknik yang simpel dan cepat untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam senyawa organik. Analisis gugus fungsi suatu sampel dilakukan dengan

membandingkan pita serapan yang terbentuk pada spektrum infra merah dengan menggunakan spektrum senyawa pembanding yang sudah diketahui. Analisis FT-IR untuk membran kitosan murni dan kitosan yang dimodifikasi dengan silika diperlihatkan pada gambar 4 spektrum membran kitosan baik yang murni atau yang dimodifikasi dengan aditif silika menunjukkan bahwa sampel uji mengandung gugus hidroksil (O-H). Gugus tersebut terdapat pada bilangan gelombang $3376\text{--}3377\text{ cm}^{-1}$. Gugus amina (NH) muncul pada bilangan gelombang $2750\text{--}2350\text{ cm}^{-1}$. Gugus $\text{C}\equiv\text{C}$ juga muncul pada bilangan gelombang $2140\text{--}2100\text{ cm}^{-1}$. Gugus amida I ($\text{C}=\text{O}$) muncul pada bilangan gelombang $1670\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$ dan gugus amida II (N-H) muncul pada bilangan gelombang $1650\text{--}1620\text{ cm}^{-1}$.

Gambar 4. Hasil analisa FTIR pada membran kitosan-silika abu sekam padi

3.4 Analisis Kinerja membran

Pada gambar 5 pada penyisihan logam berat tembaga (Cu). Pada logam cuprum persentase penyisihan atau nilai rejeksi pada membran kitosan murni diperoleh 38%, sedangkan pada membran kitosan dengan penambahan silika 1% diperoleh nilai rejeksi 39% begitu pula dengan penambahan silika 3% diperoleh nilai rejeksi nya 46% dan dengan penambahan silika 5% didapat nilai rejeksi 62%. Bertambahnya berat molekul silika akan membentuk ikatan intersegmental (selaput antar segmen) di dalam membran sehingga dapat membantu logam berat tertahan membran. Dari gambar terlihat bahwa penyisihan logam untuk membran kitosan murni dan membran yang dimodifikasi. Penambahan aditif silika yang berfungsi sebagai agen pembentuk pori menyebabkan membran lebih mudah melewati *solute*.

Gambar. 5 Nilai rejeksi logam Cuprum

Dalam hal ini hasil yang diperoleh tidak signifikan, dimana penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar tekanan dan zat aditif yang diberikan, maka semakin kecil nilai yang diperoleh. Penyimpangan ini disebabkan karena molekul-molekul yang tertahan pada lapisan atas membran mengalir melewati membran secara terus menerus yang diberikan tekanan. Selain itu ketebalan dan kekerasan sifat membran mungkin berkontribusi terhadap hasil ini.

4. Kesimpulan

Membran kitosan yang dihasilkan merupakan membran ultrafiltrasi, hal ini berdasarkan nilai permeabilitas membran yang berkisar antara 1,2631 – 2,7505 Kg/m².jam.bar. Karakteristik membran dari koefisien permeabilitas murni (Lp) diperoleh dari slope (kemiringan) grafik fluks terhadap tekanan operasi. Semakin tinggi nilai fluks air murni maka semakin mudah *solute* untuk melewati membran. Semakin tinggi konsentrasi silika yang ditambahkan maka semakin besar nilai fluks yang diperoleh. Kenaikan berat molekul silika berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan logam tembaga (Cu) dimana nilai rejeksi yang diperoleh semakin besar. Uji kinerja membran terhadap logam Cu mempunyai nilai rejeksi yaitu 38%, 39%, 46% dan 62%. Hasil dari morfologi untuk semua membran mempunyai struktur yang sama, lapisan atas yang *dense* dan pori-pori yang tidak homogen (asimetrik) menunjukkan bahwa membrane tersebut asimetrik. Hasil spektra FT-IR untuk membran kitosan murni dan kitosan yang dimodifikasi dengan silika menunjukkan bahwa sampel mengandung gugus hidroksil (O-H), gugus amina (NH), alkana (C≡C), amida I (C=O) dan amida II (N-H).

5. Daftar Pustaka

- Aprilia, S., Arifin, B., Anugerah, R.R., Safriadi I., “Kombinasi Proses Koagulasi dan Sistem Ultrafiltrasi dengan Membran Poliakrilonitril untuk Pemurnian Air Berwarna”, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, Vol. 9, No. 4, (2013) pp : 173-179.
- Alimohammadi, N., Shadizadeh, S.R., Kazeminezhad, I., “Removal of Cadmium from Drilling Fluid Using Nano-adsorben”. *Journal Fuel*, Vol. 111, (2013), pp : 505-509.
- Chandrasekhar . s., Pramada. P. N., Praveen. L., “Effect of Organic Acid Treatment on the Properties of Rice Husk Silica”, *Journal Of Materials Science*, Vol. 40 (2005), pp: 6356-6544.
- Handayani, P. A., Nurjanah, E., Rengga, W. D. P., “Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel”, *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, Vol. 3, No. 2, (2014), p-ISSN : 2303-0623.
- Kesumawati, “Adsorpsi Logam Cu (II) Menggunakan Kitosan dari Kulit kerang Hijau”, *Thesis*, (2014), Universitas Syiah Kuala, Aceh
- Kirk, R., E., Othmer, “Encyclopedia of Chemical Technology”, Edisi ke-4, John Wiley and Sons, Inc., New York, (1984), Vol. 21.
- Ozdes, D., Duran, C., Senturk, H. B., “Adsorptive Removal of Cd(II) and Pb(II) Ions from Aqueous Solutions by Using Turkish Illitic Clay”, *Journal Environmental Management*, Vol. 92, (2011), pp:809-815.
- Pandis, C., Madeira, S., Matos, J., Kyritsis, A., Mano, J. F., Ribelles, J. L. G., “Chitosan-Silica Hybrid Porous Membranes, *Materials Science and Engineering*, (2014), pp:553-561.
- Rafiee. E., Shahebrahimi. S., Feyzi. M., Shaterzadeh. M., “Optimization of Synthesis and Characterization of Nanosilica Produced from Rice Husk (a Common Waste Material)”, *International Nano Letters*, Vol. 2 , No. 29.
- Safiah, “Sinthesis Membran Asimetrik Selulosa Asetat dengan Penambahan Polietilen Glikol (PEG) sebagai Aditif untuk Pemnyisihan Logam Berat Kromium dan Kadmium” *Thesis*, (2014), Universitas Syiah Kuala, Aceh
- Sapei, L., Miryanti, A., Widjaja, L. B., “Isolasi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi dengan Perlakuan Awal Menggunakan Asam Klorida”, *Prosiding SINTECH-I The First Symposium in Industrial Technology*, Fakultas Teknologi Industri UPN Veteran Yogyakarta, (2012), pp:A-8 – A-16. ISSN: 2302-8033.

- Sapei. L., Padmawijaya. K. S., Sutejo. A., Theresia. L., “Karakterisasi Silika Sekam Padi dengan Variasi Temperatur *Leaching* Menggunakan Asam Asetat”, *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 9, No. 2, (2015).
- Yunianti, S., Maharani, D. K., “Pemanfaatan Membran Kitosan-Silika untuk Menurunkan Kadar Ion Logam PB(II) dalam Larutan”, *UNESA Journal of Chemistry*, Vol. 1, No. 1, (2012).