

PENGARUH SILIKA SEKAM PADI PADA SINTESIS KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{KITOSAN}/\text{SiO}_2$ DAN UJI ADSORPSI LOGAM $\text{Cu}(\text{II})$

Sri Hawa Thu Insan¹, Verry Andre Fabiani^{2*}, Ristika Oktavia Asriza³

^{1,2,3}Program Studi Kimia, Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

*Email verry-andre@ubb.ac.id / verry.kimiaubb@gmail.com

Abstract

*Synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{chitosan}/\text{SiO}_2$ composites has been carried out. This study observed the effect of rice husk silica on the synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Chitosan}/\text{SiO}_2$ composites and the $\text{Cu}(\text{II})$ Metal Adsorption Test. The synthesis was carried out by synthesizing Fe_3O_4 , preparing chitosan from *rajungan* shells, extracting silica from rice husks and synthesizing $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{chitosan}/\text{SiO}_2$ Composite composites. Rice husk silica which was varied with a mass of 0.5; 0.75; and 1 gram. The results of XRD analysis showed the presence of Fe_3O_4 phase and SiO_2 phase and crystalline structure. Composite adsorption test on $\text{Cu}(\text{II})$ metal showed the greatest adsorption efficiency with the addition of 1 gram of SiO_2 , which was 77.60 %.*

Keywords : adsorption, composite, $\text{Cu}(\text{II})$, rice husk, silica.

1. PENDAHULUAN

Produksi padi di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung pada tahun 2021 mencapai 69.721 ton dan mengalami peningkatan sebesar 21,63% dibandingkan tahun sebelumnya (BPS, 2021). Meningkatnya produksi padi menyebabkan tingginya limbah pengolahan padi salah satunya sekam padi. Sekam padi dihasilkan dari proses penggilingan padi. Salah satu manfaat atau potensi yang dapat di kembangkan dari sekam padi yaitu sebagai sumber silika. Sekam padi mengandung sekitar 20% abu sekam dan mengandung 90 % silika (Sapei dkk, 2012). Silika merupakan bahan pengemban atau bahan yang dapat memberi lapisan penghalang dalam sintesis komposit salah satunya dalam sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ dimana silika digunakan karena relatif lebih stabil dan dapat mempertahankan efektifitas maupun fungsi dari komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ (Fatimah dkk., 2014).

Magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu partikel magnetik yang memiliki karakterisasi yang menarik seperti kemagnetan, optis dan katalitik (Wahyu, 2017). Salah satu manfaat magnetit yaitu dapat diaplikasikan sebagai pemisah logam berat dalam pemurnian air

(Lakshmanan, 2013). Karakterisasi dan penggunaan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ telah digunakan sebelumnya sebagai adsorben namun efisiensi adsorpsi dari komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ masih rendah. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas dari komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ dengan penambahan kitosan yang banyak mempunyai gugus amino bebas ($-\text{NH}_2$) yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi (Fisli dkk, 2014). Pada cangkang kulit *rajungan* mengandung kitosan yang dikonversi dari kitin melalui reaksi deasetilasi (Ming-Tsung dkk, 2009). Kandungan kitosan dalam cangkang *rajungan* bisa mencapai sekitar 22,66% (Matheis dkk, 2011). Kitosan dapat di hasilkan dari limbah cangkang *rajungan* sebagai produk yang lebih bernilai.

Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan}/\text{SiO}_2$ diharapkan memiliki efisiensi dalam mengadsorpsi logam berat salah satunya logam tembaga (Cu). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Insan dkk (2021) dimana komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan}/\text{SiO}_2$ memiliki kemampuan dalam mengadsorpsi logam $\text{Cu}(\text{II})$ namun efisiensi adsorpsinya masih rendah sehingga pada penelitian ini dilakukan optimalisasi kinerja komposit dengan mengamati pengaruh silika sekam padi terhadap komposit

Fe₃O₄/kitosan/SiO₂ dan uji adsorpsi pada logam Cu (II).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sintesis Fe₃O₄

Metode kopresipitasi merupakan metode sintesis yang digunakan dalam penelitian ini, dimana ditimbang 4,170 gram FeSO₄.7H₂O dan 8,109 gram FeCl₃.6H₂O yang dilarutkan dalam 30 mL akuades. Selanjutnya, ke dalam larutan tersebut ditambahkan 60 mL larutan NH₄OH 10 % secara perlahan dan diaduk diatas *magnetic stirrer*. Dilakukan pengadungan secara terus menerus selama 90 menit pada suhu 60 °C. Larutan yang dihasilkan kemudian dicuci dengan akuades sampai bau dari NH₄OH hilang dan disaring menggunakan kertas saring. Selanjutnya, endapan yang dihasilkan dikeringkan dalam oven sampai endapan mengering (Taib, 2015).

2.2 Preparasi kitosan dari cangkang rajungan (*Portunus pelagicus L.*)

Adapun tahap awalnya yaitu dilakukan proses pencucian dan pembersihan cangkang rajungan menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada cangkang rajungan. Kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari. Selanjutnya, cangkang dihaluskan menggunakan blender hingga diperoleh hasil berupa serbuk halus, tahap akhir adalah proses pengayakan menggunakan saringan berukuran 100 Mesh. Prosedur penelitian ini berdasarkan penelitian sebelumnya oleh (Yen dkk, 2009) (Burrows dkk, 2007) dan (Weska dkk, 2007) .

a. Demineralisasi

Ditimbang 50 gram serbuk cangkang rajungan, selanjutnya ditambah dengan 200 mL HCl 2 N dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Endapan dicuci dengan akuades sampai pH mencapai netral. Kemudian disaring dan dikeringkan selama 24 jam didalam oven pada temperatur 100 °C. Hasil yang di peroleh berupa padatan.

b. Deproteinasi

Padatan yang diperoleh dari hasil demineralisasi ditimbang sebanyak 8 gram kemudian ditambah dengan 80 mL NaOH 4%

dan dipanaskan selama 2 jam pada suhu refluks (sekitar 100 °C), sambil dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer*. Kemudian disaring dan dikeringkan selama 24 jam didalam oven pada temperatur 100 °C. Hasil yang diperoleh berupa padatan.

c. Depigmentasi

Padatan yang dihasilkan dalam proses sebelumnya dicuci hingga mencapai pH netral menggunakan akuades. Selanjutnya dikeringkan selama 2 jam dalam oven pada temperatur 100 °C. Material yang diperoleh berupa kitin yang kemudian dicuci dengan etanol 96% (1:10), selanjutnya kitin dicuci kembali dengan campuran akuades:aseton (1:1). Kemudian disaring dan dikeringkan pada suhu 100 °C didalam oven.

d. Deasetilasi

Padatan kitin yang didapat dari proses sebelumnya ditambah dengan 80 mL NaOH 70% . Campuran tersebut direfluks selama 2 jam pada suhu 100 °C. Dari hasil refluks tersebut kemudian dicuci dengan akuades hingga mencapai pH netral. Kemudian disaring dan dikeringkan selama 24 jam didalam oven pada temperatur 100 °C.

2.3 Preparasi SiO₂ dari Sekam Padi

Sekam padi yang telah dikeringkan dibawah sinar matahari kemudian diabukan dalam cawan porselin selama 4 jam pada temperatur 700°C. Dari proses tersebut didapatkan abu sekam padi yang kemudian dihaluskan dan ayak menggunakan ayakan berukuran 150 mesh. Kemudian pada proses ekstraksi, 20 gram abu sekam padi di tambahkan 100 mL larutan NaOH 1 N dan di *stirrer* pada temperatur 80°C setelah 1 jam, selanjutnya ditambahkan larutan HCl 1 N sampai pH 7. Setelah terbentuk gel, gel disaring dan dikeringkan didalam oven pada temperatur 80 °C. Kemudian silika yang didapat dianalisis menggunakan XRD dan XRF (Handayani dkk, 2014).

2.4 Sintesis Komposit Fe₃O₄/kitosan/SiO₂

Sintesis diawali dengan penimbangan 1 gram kitosan dan dilarutkan di dalam 25 mL larutan CH₃COOH 1 % (v/v). Selanjutnya di

tambahkan 95 mg Fe₃O₄ serta variasi komposisi SiO₂ yaitu 0,5; 0,75; dan 1 gram. Campuran tersebut kemudian dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 5 jam. Pada saat dispersi berlangsung, ditambah 0,5 mL CMC 1 % dan 5 mL parafin. Selanjutnya ditambahkan 5-6 mL CH₂O 37% secara perlahan ke dalam campuran. Setelah campuran homogen dan terbentuk endapan, kemudian dicuci beberapa kali dengan etanol 96% dan akuades. Komposit yang diperoleh di saring dan keringkan pada suhu 500 selama 1 jam (Fisli dkk, 2014).

2.5 Uji Adsorpsi

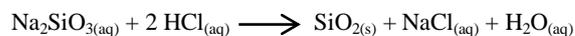
Proses adsorpsi menggunakan komposit Fe₃O₄/ kitosan/ SiO₂ ditimbang sebanyak 0.2 gram untuk dicampurkan dalam larutan Cu 100 mL, lalu di homogenkan dengan *stirrer* selama 30 menit. Setelah itu diukur menggunakan alat *atomic adsorption spectrophotometer* (AAS) (Yulianis dkk, 2017).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Ekstraksi silika dari sekam padi

Ekstraksi silika dilakukan dengan mengekstraksi silika dari sekam padi dimana sekam padi dikalsinasi pada suhu 700°C selama 4 jam. Pemanasan sekam padi pada suhu yang tinggi dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan fraksi organik dari sekam padi, sehingga hanya menyisakan fraksi anorganik. Selanjutnya abu yang di dapatkan di reaksikan dengan basa alkali yaitu NaOH untuk menghasilkan natrium silikat.

Larutan natrium silikat diperoleh dari pengekstraksian abu sekam dengan larutan NaOH 1 N pada suhu 80°C selama 60 menit. Larutan natrium silikat yang dihasilkan berwarna putih bening. Selanjutnya proses pembuatan silika gel dari natrium silikat. Berdasarkan penelitian Ayu dkk (2013) pada kondisi pH 7, silika gel yang dihasilkan memiliki rendemen dan luas permukaan yang paling besar. Proses pembentukan gel terjadi melalui reaksi pembentukan ikatan siloksan –Si-O-Si- dari silikat, sebagaimana reaksi berikut ini (Nuryono dan Narsito, 2005):



Silika gel terbentuk setelah didiamkan selama 24 jam sampai terbentuknya gel yang mengalami penyusutan volume gel akibat reaksi kondensasi yang terjadi diikuti dengan berlangsungnya eliminasi larutan garam yang disebut sebagai proses sinersis. Gel yang di peroleh selanjutnya dicuci dengan akuades dengan tujuan untuk menghilangkan garam hasil samping reaksi. Selanjutnya gel yang didapatkan kemudian dikeringkan pada suhu 100°C sampai gel mengering.

Tabel 1. Hasil Uji XRF Silika dari Sekam Padi

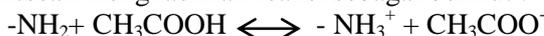
| Senyawa | (%) |
|--------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 75,8 |
| MgO | 1,7 |
| P ₂ O ₅ | 1,4 |
| Cl | 18,3 |
| Al ₂ O ₃ | 1,2 |
| K ₂ O | 0,837 |
| CaO | 0,553 |
| Mn | 0,004 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,027 |
| Zn | 0,013 |
| Rb | 0,006 |

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan SiO₂ pada sampel yang diuji yaitu sebesar 75,8 %, data tersebut cukup kecil jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Umah dkk (2012) berkisar sekitar 86,90-97,30% hal ini diakibatkan oleh faktor penanganan yang kurang sempurna seperti pada saat pencucian gel yang kurang optimal.

3.2 Pengaruh Penambahan Silika Pada Sintesis Komposit Fe₃O₄/Kitosan/SiO₂

Pada tahap sintesis komposit Fe₃O₄/Kitosan/SiO₂, Fe₃O₄ yang digunakan merupakan hasil sintesis dari FeCl₃ dan FeSO₄ dengan amonia sehingga menghasilkan Fe₃O₄. Kitosan merupakan salah satu bahan komposit yang digunakan yaitu berbentuk serbuk putih kecoklatan, yang selanjutnya dilakukan modifikasi dengan penambahan SiO₂ terhadap material komposit dalam proses sintesis yang bertujuan untuk mendapatkan produk dengan kualitas dan kuantitas daya adsorpsi yang tinggi sebagai material adsorben. Pada sintesis komposit Fe₃O₄/Kitosan/SiO₂ dilakukan

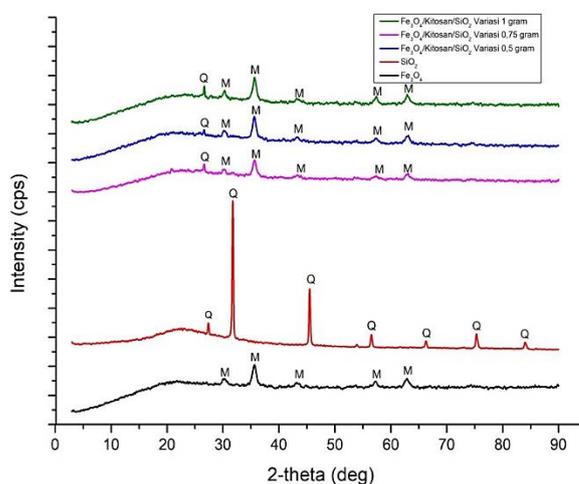
penambahan 1 % asam asetat ke dalam 1 gram kitosan yang bertujuan agar kitosan dapat tersuspensi dengan Fe_3O_4 (Noralia dkk, 2013). Proses yang terjadi antara asam asetat dan kitosan menghasilkan reaksi sebagai berikut :



Selanjutnya campuran reaksi diemulsikan dengan *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan parafin yang memungkinkan pada tahap ini terjadinya perenggangan rantai polimer akibat putusannya beberapa ikatan hidrogen antar molekul yang menyebabkan meningkatnya fleksibilitas untuk bereaksi dengan gugus $-\text{OH}$ dari silika dan pori-pori permukaan kitosan terbuka. Adapun penambahan CMC ini bertujuan untuk mengoptimalkan terbentuknya endapan dan ditambahkan formaldehid sebagai agen *crosslinker* (Fabiani dkk, 2019). Pada penelitian ini sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ dilakukan dengan memvariasikan massa SiO_2 yaitu 0,5; 0,75; dan 1 gram, hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan SiO_2 terhadap komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$.

Pada sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ ini diperoleh hasil pengamatan yaitu dimana setiap perlakuan atau penambahan bahan terjadinya perubahan. Pada saat perlakuan awal yaitu pelarutan kitosan dalam asam asetat menghasilkan gel kitosan berwarna putih kecokelatan keruh, kemudian ditambahkan Fe_3O_4 dan SiO_2 yang mengakibatkan larutan menjadi berwarna hitam. Fe_3O_4 berfungsi untuk menstabilkan sisi aktif permukaan komposit. Selanjutnya penambahan larutan CMC dan parafin sebagai larutan pengemulsi sehingga terbentuknya dua fasa yaitu fasa minyak dan endapan. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetit stirrer* sampai campuran homogen dan ditambahkan formaldehid (CH_2O) yang membuat endapan menjadi mengeras. Selanjutnya dilakukan pencucian menggunakan etanol untuk menghilangkan sisa pelarut dalam endapan seperti asam asetat yang kemudian di saring untuk mendapatkan endapan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$. Endapan yang dihasilkan kemudian di tanur selama 1 jam pada suhu 500°C , hasil yang didapat yaitu berupa serbuk komposit kering berwarna coklat kehitaman.

Selanjutnya komposit yang diperoleh akan dikarakterisasi dengan XRD untuk mengetahui fasa serta struktur yang terbentuk pada komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$.



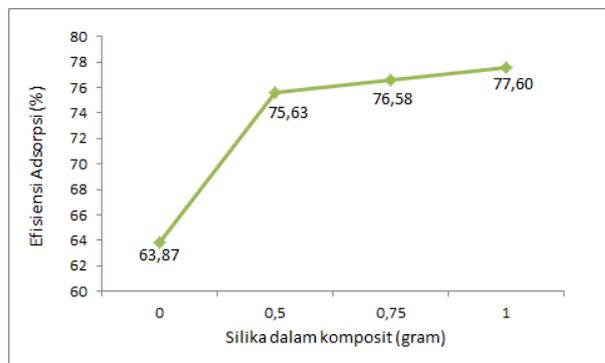
Gambar 1. Difraktogram Fe_3O_4 , SiO_2 , komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ variasi silika 0,5 gram, komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ variasi silika 0,75 gram, komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ variasi silika 1 gram

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan adanya puncak-puncak pola difraksi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ pada 2θ $30,34^\circ$; $35,55^\circ$; $43,23^\circ$; $57,45^\circ$; $62,86^\circ$ sesuai dengan data *Joint Committee on Powder Diffraction Standard* (JCPDS) Fe_3O_4 nomor 85-1436 dan sudut 2θ $26,64^\circ$ yang bersesuaian dengan *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) SiO_2 No. 01-083-287. Penambahan silika mengakibatkan meningkatnya puncak intensitas dari komposit sehingga kristalinitas dari komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ juga semakin meningkat (Zamani dkk, 2014). Berdasarkan Gambar 1, puncak-puncak pola difraksi untuk kitosan tidak teridentifikasi, hal ini dikarenakan sifat *hydrophobic* dari Fe_3O_4 yang tidak mudah dikemas dalam SiO_2 (Wang dkk, 2012).

3.3 Uji Adsorpsi

Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ hasil sintesis di uji adsorpsi untuk menentukan nilai efisiensi adsorpsi. Penentuan efisiensi adsorpsi bertujuan untuk mengetahui kemampuan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ menyerap ion

logam Cu (II).



Gambar 2. Persen Efisiensi Adsorpsi Komposit Fe₃O₄/Kitosan/SiO₂

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan nilai efisiensi adsorpsi komposit dimana dapat dilihat bahwa adsorpsi optimum terjadi menggunakan komposit Fe₃O₄/Kitosan/SiO₂ dengan penambahan Fe₃O₄ 95 gram dan silika 1 gram. Sebelum diadsorpsi, kadar ion logam Cu²⁺ mencapai 46,67 ppm, setelah diadsorpsi terjadi penurunan kadar ion logam yaitu sebesar 10,45 ppm, dimana hasil yang diperoleh untuk nilai efisiensi adsorpsi mencapai optimum pada 77,60% dan untuk nilai adsorpsi terhadap ion logam Cu²⁺ menggunakan komposit Fe₃O₄/Kitosan/SiO₂ pada variasi penambahan silika 0,5 dan 0,75 gram yaitu sebesar 75,63 % dan 76,58 % sedangkan komposit Fe₃O₄/Kitosan tanpa penambahan SiO₂ memiliki efisiensi adsorpsi sebesar 63,87 %.

Ikatan silang partikel magnetit kitosan terhadap adsorpsi ion logam Cu²⁺ juga dilakukan oleh Le dkk, (2017) dengan efisiensi adsorpsi yaitu sebesar 51%. Penambahan silika pada komposit dapat mempengaruhi sifat fisika dan efisiensi adsorpsi dari komposit. Wang dkk, (2010) telah melakukan sintesis komposit Fe₃O₄/SiO₂ untuk adsorpsi logam Cu²⁺ dengan efisiensi adsorpsi yaitu 69%. Adanya gugus -NH₂ pada komposit dari penambahan kitosan menyebabkan kemampuan adsorpsi semakin tinggi, selain itu peningkatan efisiensi adsorpsi yang tinggi juga disebabkan oleh penambahan silika yang menyebabkan sisi aktif permukaan komposit meningkat, sehingga dapat disimpulkan bahwa

semakin banyak komposisi silika pada komposit maka kemampuan adsorpsi dari komposit Fe₃O₄/Kitosan/SiO₂ juga meningkat (Saiful dkk,2013).

4. KESIMPULAN

1. Karakteristik komposit Fe₃O₄/ Kitosan/ SiO₂ dari hasil analisis XRD menunjukkan adanya fasa Fe₃O₄ dan fasa SiO₂ serta berstruktur kristalin.
2. Semakin besar komposisi silika pada komposit Fe₃O₄/ Kitosan/ SiO₂ menyebabkan kemampuan adsorpsi semakin tinggi. Uji adsorpsi komposit terhadap logam Cu (II) menunjukkan nilai efisiensi adsorpsi terbesar pada penambahan SiO₂ 1 gram yaitu 77,60 %.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ayu, A.M., Wardahnai, S., dan Darjito. 2013. Studi Pengaruh Konsentrasi NaOH dan pH terhadap Sintesis Silika Xerogel Berbahan Dasar Pasir Kuarsa. *Kimia Student Journal*. 2(2): 517-523.
- Badan Pusat Statistika (BPS). 2021. Luas Panenda Produksi Padi di Kepulauan Bangka Belitung. (Online) <https://babel.bps.go.id/pressrelease/2021/1/01/828/>, diakses 10 Juli 2022.
- Fabiani, V.A., Julianti, E., Samsiar, A. (2019). The Adsorption Efficiency of Lead From Post-Tin Mining ater Using Nanomagnetic Fe₃O₄/Chitosan Portunus Pelagicus Shells. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. Vol 1, No 1.
- Fatimah, N., Prasetya, A. T., dan Sumarni, W. 2014. Penggunaan Silika Gel Terimobilisasi Biomassa *Aspergillus niger* untuk Adsorpsi Ion Logam Fe (III). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3(3).
- Fisli, A., Yusuf, S., Krisnandi, Y. K., dan Gunlazuardi, J. 2014. Preparation and characterization of magnetite-silica nanocomposite as adsorbents for removal of methylene blue dyes from environmental

- water samples. *Advanced Materials Research*, 896, 525–531.
- Handayani, Prima Astuti., Eko Nurjanah dan Wara Dyah Peta Rengga. 2014. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi menjadi Silika Gel. *Jurnal bahan alam terbarukan*.
- Insan, S.H.T., Fabiani, V.A., Asriza, R.O. 2021. Efisiensi Adsorpsi Logam Cu menggunakan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}/\text{SiO}_2$ Sekam Padi. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (SNPPM) 2021*. Pangkalpinang, 29-30 September 2021.
- Lakshmanan, R. 2013. Application of magnetic nanoparticles and reactive filter materials for wastewater treatment. KTH Royal Institute of Technology.
- Le, V.T., Tran, B. C., Tran, T.K.N., Tran, X.V., Nguyen, D.D., Nguyen, M.H., Dang, T.T.T., Nguyen, T.H., dan Le, H.S. 2017. Preparation Of Cross-linked Magnetic Chitosan Particles From Steel Slag And Shrimp Shells For Removal Of Heavy Metals. *Science* .21: 74-85.
- Matheis F. J. D. P. Tanasale, Amos Killay, dan Marsela S. Laratmase. 2011. Kitosan dari Limbah Kulit Kepiting Rajungan (*Portunus sanguinolentus* L.) sebagai Adsorben Zat Warna Biru Metilena. *Jurnal Natur Indonesia*. 14 (2):165-171.
- Ming-Tsung Yen, Joan-Hwa Yang, Jeng-Leun Mau. 2009. Psychochemical Characterization of Chitin and Chitosan from Crab Shells. *Carbohydrate Polymers*.75 : 15-21.
- Noralia, E. dan D.K. Maharani. 2013. Filtrasi Ion Logam Cr^{6+} Dengan Membran Komposit Kitosan-Silika. *UNESA Journal Of Chemistry*. 2 (1):24-28.
- Nuryono dan Narsito. 2005. Pengaruh Konsentrasi Asam Terhadap Karakter Silika Gel Hasil Sintesis dari Natrium Silikat. *Indo. J. Chem*. 5 (1): 23–30.
- Saiful, Nurfitriana, Ramli, M., Maulana, I. 2013. Pengembangan Membran Magnesol Untuk Pemurnaian Biodisel. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 9 (3): 118-125.
- Sapei, L., Miryanti, A., dan Widjaja, L. B. 2012. Isolasi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi dengan Perlakuan Awal Menggunakan Asam Klorida. *Proceedings The First Symposium in Industrial Technology: Peran Dan Profesionalisme Ahli Teknik Dalam Pembangunan Ekonomi*
- Taib, Suryani dan Edi Suharyadi. 2015. Sintesis Nanopartikel Magnetite (Fe_3O_4) dengan Template silika (SiO_2) dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics*. 5 (1).
- Umah, S., Prasetyo, A., dan Barroroh, H. 2012. Kajian penambahan abu sekam padi dari berbagai suhu pengabuan terhadap plastisitas kaolin. *ALCHEMY*, 1(2), 70–74.
- Wahyu Ningseh, N. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ Core Shell Berbasis Bahan Alam. *Inovasi Fisika Indonesia*, 6(3).
- Wang, W. J., Cui, Q. Y., Qin, T., dan Sun, H. H. 2018. Preparation of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ chitosan for the adsorption of malachite green dye. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 186(3), 12014.
- Wang, N., L. Zhu, D. Wang, M. Wang, Z. Lin, H. Tang. 2010. Sono-assisted Preparation of Highly-efficient Peroxidase-like Fe_3O_4 Magnetic Nanoparticles for Catalytic Removal of Organic Pollutants with H_2O_2 . *Ultrasonic Sonochemistry*, 17(1): 526-533
- Weska, R. F., Moura, J. M. de, Batista, L. de M., Rizzi, J., dan Pinto, L. A. de A. 2007. Optimization of deacetylation in the production of chitosan from shrimp wastes: Use of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 749–753.
- Yen, M.-T., Yang, J.-H., dan Mau, J.-L. 2009. Physicochemical characterization of chitin and chitosan from crab shells. *Carbohydrate Polymers*, 75(1), 15–21.
- Yulianis, Y., Mahidin, M., dan Muhammad, S. 2017. Adsorpsi Ion Logam Tembaga Menggunakan Nano Zeolit Alam yang Diaktivasi. *Jurnal Litbang Industri* 7(1), 61–69.

Zamani, Farzad. 2014. Polyvinyl amine coated $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ magnetic microspheres for Knoevenagel condensation. *Dalian Institute of Chemical Physics*. Chinese academy.