

Aplikasi Membran Filter Keramik Untuk Menurunkan Konsentrasi Zat Warna *Remazol Red* dan Nilai COD Limbah Cair Batik

Nur Fitriana, Maya Rahmayanti*

Program Studi Kimia, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga,
Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding author: maya.rahmayanti@uin-suka.ac.id

Received: September ,17,2020 /Accepted: December,27,2020

Doi: 10.24252/al-kimiav8i2.15932

Abstract: Research on the application of ceramic filter membranes in reducing remazol red dye concentration and COD value of batik liquid waste has been carried out. The purpose of this study was to reduce the remazol red dye concentration and the COD value of batik wastewater using a ceramic filter membrane. The ceramic filter membrane used was made from clay and silica sand with variations in the number of additions of wood sawdust as much as 0, 1, 3, 5 and 7%. Then the porosity of the ceramic filter membrane was tested to determine the percentage of the pore volume that the ceramic filter membrane had. The ceramic filter membrane with the composition of clay, silica sand and 1% wood sawdust was the most optimum in reducing remazol red dye up to 86.68% and reducing COD value up to 97.87%.

Keywords: filtration, remazol red, COD, ceramic filter membranes, batik liquid waste

PENDAHULUAN

Batik merupakan kerajinan yang berasal dari Indonesia dan telah menjadi warisan dunia sejak ditetapkan oleh *United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization* (UNESCO) pada bulan Oktober 2009. Proses pembuatan batik secara umum yaitu pemberian *waxes* (lilin) pada kain, pewarnaan, dan pelepasan lilin dari kain. Seiring meningkat jumlah peminat batik, maka semakin meningkat pula permasalahan lingkungan seperti penambahan jumlah limbah cair, *sludge*, maupun gas.

Limbah cair yang dihasilkan dari industri batik umumnya mengandung zat warna yang sulit terurai, padatan tersuspensi, surfaktan serta senyawa organik lainnya seperti *waxes* yang relatif tinggi. Kontaminan zat warna *remazol red* dan senyawa organik yang semakin meningkat dalam limbah cair batik menyebabkan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam limbah cair batik semakin banyak, sehingga nilai COD limbah cair batik juga semakin besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menemukan cara yang efektif dan efisien dalam menurunkan konsentrasi zat warna *remazol red* dan nilai COD limbah cair batik. Terdapat beberapa jenis metode pengolahan limbah yaitu pengolahan secara fisika, kimia, biologi, dan kombinasi dari dua atau ketiganya. Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan penggunaan metode adsorpsi dalam mengolah limbah zat warna batik (Rahmayanti et al., 2020; Fuadah et al., 2010, Prandini et al., 2020, Santi et al., 2019; Ekowati et al., 2019, Latifah et al., 2020). Kelemahan dari metode adsorpsi tersebut adalah sukar diterapkan pada limbah batik dalam jumlah besar. Pada penelitian ini dipilih metode fisika berupa metode filtrasi menggunakan membran filter keramik dengan harapan dapat digunakan langsung untuk mengolah limbah zat warna batik oleh pengrajin batik skala rumah tangga.

Pada prinsipnya, membran filter keramik berperan sebagai suatu media untuk menahan zat warna *remazol red* serta senyawa organik dari limbah cair batik yang memiliki ukuran lebih besar dari pori-pori membran (Agmalini et al., 2013) Namun, pada mekanisme proses filtrasi juga terjadi beberapa proses diantaranya yaitu pengendapan pada pori dalam membran filter keramik, proses elektrostatis dimana adanya gaya tarik antara dua muatan yang berbeda serta proses penyerapan pada pori-pori membran filter keramik (Murniati et al., 2013).

Keunggulan membran filter keramik dibandingkan dengan pengolahan konvensional diantaranya adalah energi yang digunakan untuk operasi dan pemeliharaan relatif rendah, bersifat modular, tidak memerlukan kondisi ekstrem (temperatur dan pH), tidak memerlukan bahan kimia dan tidak menghasilkan limbah tambahan (Wenten et al., 2013). Disamping kelebihanannya, membran filter keramik juga memiliki kekurangan yaitu mudah mengalami *fouling* (penyumbatan) baik di dalam maupun di luar dari pori membran. Terjadinya *fouling* akan menyebabkan penurunan fluksi permeat dan menurunkan efisiensi ekonomi dari *plant* pengolahan air (Nainggolan, 2015). Upaya penanganan *fouling* pada penelitian ini adalah dengan dua cara yaitu melakukan *running* terlebih dahulu dengan menggunakan akuades dan mencuci membran filter keramik dengan NaOH sebelum diaplikasikan pada air limbah cair batik. Pencucian ini dilakukan ketika fluks permeat turun 10-15%.

Kebaruan pada penelitian ini adalah studi tentang pengaruh penambahan serbuk gergaji pada membran filter keramik serta aplikasinya untuk menurunkan kandungan zat warna *remazol red* dan nilai COD limbah cair batik. Uji porositas membran filter keramik juga dilakukan pada penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah lempung yang berasal dari Kecamatan Kasongan, pasir silika, serbuk gergaji kayu jati ukuran 425 mikron, akuades dan zat warna *remazol red* yang dibeli di toko batik. Pembuatan membran filter keramik dilakukan dengan metode cetak menggunakan gipsum.

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini antara lain oven, neraca analitik, seperangkat alat gelas, penyaring *Buchner*, *shaker*, pompa vakum, kertas Whatman 42, ayakan 425 mikron, dan Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (UV-Vis) 1800 double beam Shimadzu.

Prosedur

Pembuatan Membran Filter Keramik

Tanah liat masing-masing sebanyak 100gram yang diolah dengan cara mencampurkan tanah liat dengan air kemudian dibiarkan hingga 24 jam kemudian digiling agar lebih liat dan teksturnya tebal. Tanah yang telah diolah disiapkan pada 5 wadah. Sepuluh gram pasir silika dan serbuk gergaji dengan variasi 0%, 1%, 3%, 5%, dan 7% dari massa tanah liat ditambahkan ke dalam masing-masing wadah. Selanjutnya masing-masing campuran ditambahkan air secukupnya dan di aduk hingga homogen. Setelah homogen, masing-masing campuran dicetak menggunakan cetakan gipsum dan didiamkan hingga dapat dilepaskan dari cetakan. Hasil cetakan diangin-anginkan pada suhu kamar selama 3 hari. Kemudian dibakar pada suhu 650-700 °C selama 8 jam. Bentuk membran filter keramik yang dihasilkan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Membran filter keramik

Uji Porositas Membran Filter Keramik

Tahap selanjutnya, membran filter keramik diuji porositasnya. Masing-masing sampel keramik ditimbang massanya. Kemudian sampel direndam dalam air selama 24 jam pada suhu ruang dan tekanan ruang. Lalu, sampel ditimbang massanya menggunakan neraca digital. Data yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan persamaan (1).

$$\text{Porositas} = \frac{p_2 - p_1}{p_1} \times 100\% \quad (1)$$

p_1 = massa jenis sampel kering (g/cm^3)

p_2 = massa jenis sampel basah (g/cm^3)

Uji Kandungan Zat Warna Remazol Red dan Nilai COD Limbah Cair Batik Sebelum diolah

Kandungan zat warna *remazol red* limbah cair batik sebelum diolah diuji menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan nilai COD di BBTCLPP Yogyakarta.

Aplikasi Membran Filter Keramik pada Limbah Cair Batik

Proses filtrasi dilakukan dengan cara mengalirkan limbah ke dalam membran keramik dengan 5 variasi komposisi bahan. Air limbah tersebut akan merembes melewati pori-pori dinding keramik dan ditampung di dalam wadah penampungan. Air limbah yang ditampung selanjutnya dikeluarkan melalui outlet untuk diuji nilai COD dan kandungan zat warna *remazol red*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, tanah liat diolah terlebih dahulu untuk menghilangkan unsur pengotor yang terkandung di dalamnya. Semua bahan dicampur untuk mendapatkan campuran bahan yang homogen. Tanah liat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran filter keramik dikarenakan sifatnya yang plastis sehingga mudah dibentuk dan berfungsi sebagai pengikat dalam proses pembentukan keramik agar keramik tidak mudah retak dan berubah bentuk. Pasir silika berperan untuk memperkuat *body* keramik dan meningkatkan rasio unsur Si dalam keramik. Adanya unsur silika mampu membuat keramik lebih hidrofobik sehingga menyebabkan daya adsorpsi permukaan membran terhadap air menurun. Serbuk gergaji kayu ditambahkan sebagai agen porogen agar menambah porositas *body* keramik. Serbuk gergaji kayu yang terkandung dalam *body* keramik sebagai bahan organik akan terbakar dan bekasnya akan memberikan pori-pori pada *body* keramik. Selain itu, serbuk gergaji kayu mengandung lignoselulosa yang

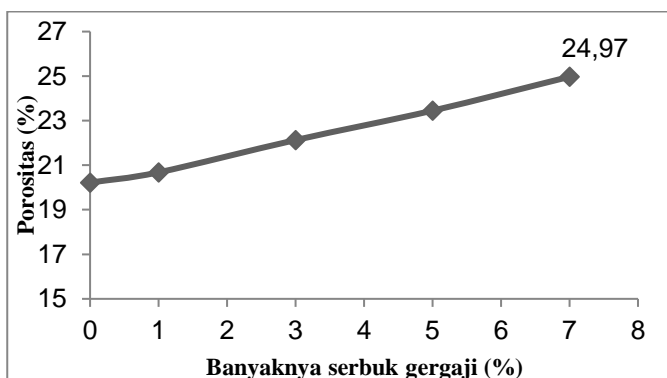
memiliki gugus aktif $-OH$, $C=C$, dan gugus $C-O$ (Wahyuni et al, 2014) yang diharapkan mampu menurunkan konsentrasi zat warna *remazol red* dalam limbah.

Teknik cetak akan membuat semua membran filter keramik yang dihasilkan memiliki bentuk dan ukuran yang sama. Media yang digunakan untuk mencetak membran filter keramik yakni gipsum. Gipsum akan menyerap air yang terkandung dalam bahan dan semua membran filter keramik yang dihasilkan memiliki bentuk dan ukuran yang sama. Membran filter keramik dikeringkan untuk menghilangkan air plastis yang terikat pada badan membran filter keramik. Pada saat membran filter keramik dikeringkan maka akan terjadi tiga proses penting. Proses pertama yaitu air pada lapisan antar partikel bahan membran filter keramik akan berdifusi ke permukaan, menguap, sampai akhirnya partikel-partikel saling bersentuhan dan penyusutan berhenti. Proses selanjutnya yaitu air dalam pori hilang tanpa terjadi susut dan proses yang terakhir yaitu air yang terserap pada permukaan partikel hilang. Oleh karena itu, pada proses pengeringan harus dilakukan secara lambat. Apabila proses pengeringan dilakukan terlalu cepat akan mengakibatkan keretakan pada membran filter keramik yang disebabkan oleh hilangnya air secara tiba-tiba tanpa diimbangi penataan partikel campuran bahan secara sempurna yang mengakibatkan penyusutan mendadak. Untuk menghindari hal tersebut, maka keramik yang telah dicetak diangin-anginkan pada suhu kamar.

Pembakaran merupakan inti dari pembuatan keramik dimana pada proses ini akan mengubah massa yang rapuh menjadi massa yang padat, keras, dan kuat. Pembakaran dilakukan dalam sebuah tungku dengan suhu sekitar $650-700\text{ }^{\circ}C$. Pada proses pembakaran, partikel-partikel bubuk menyatu dan memadat. Proses pemadatan menyebabkan membran filter keramik menyusut hingga 20% dari ukuran semula. Penyusutan ini disebabkan oleh massa membran berkurang akibat terbakarnya bahan organik dan air. Proses pembakaran bertujuan untuk memaksimalkan kekerasan membran filter keramik dengan mendapatkan struktur internal yang tersusun rapih dan padat.

Porositas Membran Filter Keramik

Membran filter keramik yang dihasilkan diuji porositasnya. Uji porositas bertujuan untuk mengetahui persentase jumlah volume pori-pori (volume kosong) yang dimiliki oleh membran filter keramik. Hubungan banyaknya serbuk gergaji dalam membran filter keramik terhadap porositas membran filter keramik pada penelitian ini disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, porositas membran filter keramik dengan penambahan massa serbuk gergaji kayu sebanyak 0, 1, 3, 5 dan 7% berturut-turut sebesar 20,22; 20,68; 22,13; 23,45 dan 24,97%. Berdasarkan Gambar 2, semakin banyak serbuk gergaji kayu yang ditambahkan maka semakin besar porositas *body* keramik. Hal ini dikarenakan semakin banyak serbuk gergaji kayu yang ditambahkan maka semakin banyak lignoselulosa yang hilang pada proses *sintering* sehingga meninggalkan pori-pori dalam keramik. Proses *sintering* pada temperatur yang tinggi juga menyebabkan saling berhimpitnya struktur serbuk gergaji kayu. Selain itu, kandungan silika dalam keramik juga mampu membentuk pori dalam keramik. Hal ini dikarenakan adanya ikatan silika-oksigen antar molekul sehingga membentuk rantai panjang SiO_2 dan ikatan antara silika dengan oksigen pada gugus $-OH$.



Gambar 2. Grafik hubungan banyaknya serbuk gergaji dalam membran filter keramik terhadap porositas membran filter keramik

Performa Membran Filter Keramik dalam Menurunkan Kandungan Zat Warna Remazol Red dan nilai COD Limbah Cair batik

Pada penelitian ini, proses dekolonisasi zat warna *remazol red* dilakukan dengan metode filtrasi menggunakan membran filter keramik dengan berbagai variasi komposisi serbuk gergaji. Pada prinsipnya, dalam proses filtrasi dengan membran akan terjadi proses pemisahan berdasarkan ukuran dan adsorpsi, dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben akibat peristiwa kimia dan fisika. Proses adsorpsi juga dapat terjadi karena adanya gaya tarik-menarik elektrostatis antara partikel-partikel yang bermuatan listrik berlawanan. Permukaan membran filter keramik memiliki pori-pori sedangkan zat warna *remazol red* memiliki ukuran molekul yang relatif besar sehingga memungkinkan molekul zat warna tersebut tertahan dipermukaan membran filter keramik. Selain itu, terjadi proses adsorpsi partikel zat warna pada permukaan bagian dalam pori membran membran filter keramik, sehingga menyebabkan konsentrasi zat warna *remazol red* akan berkurang.

Membran yang dibuat dari bahan yang mengandung silika mengandung gugus aktif $-OH$ pada permukaan porinya (Tolba et al, 2016). Hal ini menyebabkan terjadinya interaksi antara gugus aktif zat warna *remazol red* dengan gugus aktif dari membran filter keramik. Zat warna *remazol red* mengandung gugus klorida yang reaktif yang dapat bereaksi dengan gugus $-OH$ dari membran filter keramik, sehingga terjadi reaksi pertukaran ligan antara gugus $-OH$ dengan gugus klorida tersebut. Selain itu, zat warna *remazol red* memiliki gugus $-N=N-$ yang menyebabkan terjadinya ikatan hidrogen antara atom nitrogen dari zat warna *remazol red* dengan atom hidrogen dari gugus $-OH$ dalam membran filter keramik (Prameswari, 2013).

Tabel 1. menyajikan hasil konsentrasi zat warna *remazol red* menggunakan metode filtrasi dengan membran filter keramik. Pada proses filtrasi dilakukan dengan dua kali penggunaan dalam setiap membran filter keramik untuk mengetahui ketahanan, efektivitas dan kemampuan regenerasi membran filter keramik setelah digunakan untuk memfilter limbah cair batik.

Berdasarkan Tabel 1, pada proses filtrasi pertama membran filter keramik dengan penambahan serbuk gergaji kayu 0, 1, 3, 5, dan 7% masing-masing mampu menurunkan konsentrasi zat warna *remazol red* yang terkandung didalam limbah cair batik sebesar 93,23; 94,11; 91,40; 93,90; dan 88,37%. Setelah dilakukan regenerasi, membran filter keramik mampu menurunkan konsentrasi zat warna *remazol red* menjadi sebesar 68,00; 79,26; 75,20; 50,79; dan 68,40%. Artinya, kemampuan membran filter keramik menurun setelah dilakukan regenerasi. Hal ini diduga disebabkan oleh tertutupnya pori-pori

membran filter keramik oleh adsorbat saat diaplikasikan pertama kali. Kemudian data yang didapatkan diuji persamaan regresi antara variabel bebas dan variabel terikatnya. Variabel bebas berupa variasi banyaknya serbuk gergaji kayu dan variabel terikat berupa penurunan konsentrasi zat warna *remazol red*. Analisis tersebut menggunakan *One Way Anova (analysis of variance)* dan didapatkan bahwa F hitung sebesar 0,172962 dan F tabel sebesar 5,192168, dapat tarik kesimpulan bahwa variasi serbuk gergaji kayu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan konsentrasi zat warna *remazol red* dikarenakan F hitung < F tabel.

Tabel 1. Data hasil konsentrasi zat warna *remazol red* menggunakan membran filter keramik

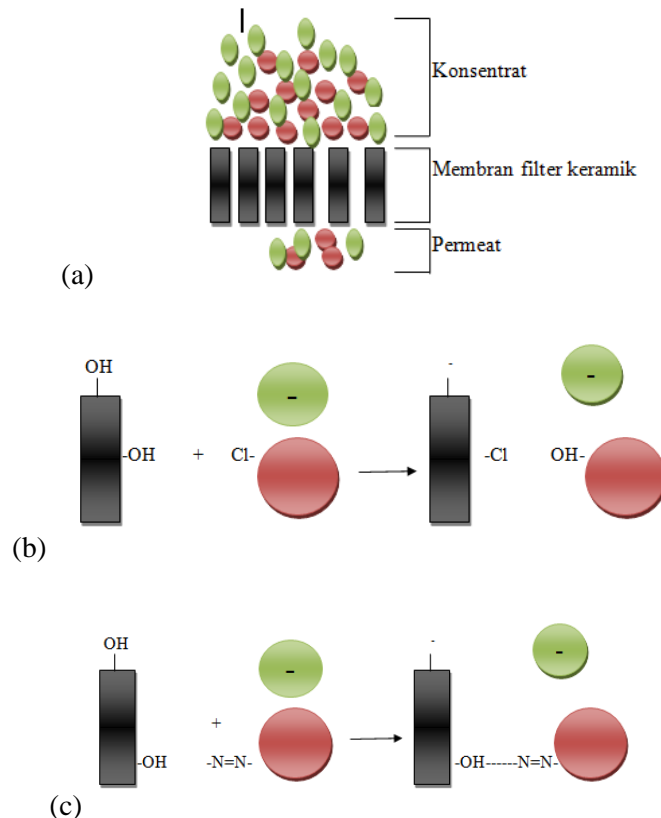
Serbuk gergaji kayu	Penggunaan Membran Filter Keramik Pertama Kali			Pengulangan Regenerasi Membran Filter Keramik		
	Konsentrasi sebelum (ppm)	Konsentrasi sesudah (ppm)	Penurunan (%)	Konsentrasi sebelum (ppm)	Konsentrasi sesudah (ppm)	Penurunan (%)
0%	192,28	13,00	93,23	177,64	56,84	68,00
1%	192,28	11,32	94,11	177,64	36,84	79,26
3%	192,28	16,52	91,40	177,64	44,04	75,20
5%	192,28	11,72	93,90	177,64	87,40	50,79
7%	192,28	22,36	88,37	177,64	56,12	68,40

Pada membran filter keramik dengan 0% serbuk gergaji kayu, membran filter keramik juga dapat menurunkan konsentrasi zat warna *remazol red* dikarenakan kandungan gugus -OH dari tanah liat dan pasir silika (Prameswari et al., 2013), serta terjadinya pemisahan berdasarkan ukuran pori pada membran filter keramik. Membran keramik dengan penambahan serbuk gergaji kayu sebanyak 3, 4, 5, dan 7% memiliki kemampuan lebih kecil dalam menurunkan konsentrasi zat warna *remazol red*. Hal ini diduga disebabkan oleh besarnya porositas membran filter keramik. Semakin besarnya porositas berpengaruh terhadap ukuran pori membran filter keramik yang dihasilkan. Diduga ukuran pori bertambah dengan bertambahnya porositas sehingga menyebabkan molekul zat warna *remazol red* tidak tertahan pada membran filter keramik (Hubaidillah et al., 2020).

Pada komposisi optimum membran filter keramik yaitu pada penambahan 1% serbuk gergaji kayu diukur nilai COD nya. Dari hasil penelitian menunjukkan membran filter keramik mampu menurunkan nilai COD dari 972,5 mg/L menjadi 20,7 mg/L. Nilai COD setelah proses filtrasi telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tahun 1995 untuk limbah cair industri tekstil yaitu sebesar 150 mg/L. Penurunan nilai COD dapat terjadi karena adanya proses filtrasi dan adsorpsi didalam membran filter keramik, sehingga menyebabkan zat warna *remazol red* dan senyawa organik menempel pada dinding membran dan menghasilkan effluent akhir menjadi lebih baik.

Ilustrasi interaksi yang terjadi antara membran filter keramik dengan zat warna *remazol red* dan senyawa organik lainnya disajikan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa dugaan interaksi melalui 3 model yaitu (a) permukaan membran filter keramik memiliki pori-pori lebih kecil sedangkan zat warna *remazol red* dan senyawa organik memiliki ukuran molekul yang relatif besar sehingga memungkinkan molekul zat warna dan senyawa organik tersebut tertahan dipermukaan membran filter sehingga menyebabkan konsentrasi zat warna *remazol red* dan nilai COD limbah cair

batik akan berkurang (Prameswari et al., 2013), (b). terjadinya pertukaran ligan antara gugus -OH (membran filter keramik) dengan gugus -Cl (remazol red), (c). terjadinya ikatan hidrogen antara atom hidrogen (membran filter keramik) dengan atom nitrogen dan (remazol red). Berdasarkan ilustrasi interaksi yang ditunjukkan pada Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa interaksi yang terjadi antara membran filter keramik dengan zat warna *remazol red* adalah interaksi elektrostatis dan interaksi fisik berupa pemisahan berdasarkan ukuran porinya.



Gambar 3. Ilustrasi Interaksi antara Membran Filter Keramik dengan Remazol Red : (a) berdasarkan ukuran pori, (b) pertukaran ligan, dan (c) ikatan hidrogen

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, penambahan serbuk gergaji berpengaruh terhadap porositas membran keramik yang dihasilkan. Semakin besar persen penambahan serbuk gergaji, porositas membran keramik yang dihasilkan semakin besar, sehingga porositas paling besar adalah pada penambahan serbuk gergaji sebanyak 7%. Namun besarnya porositas membran keramik yang dihasilkan tidak berbanding lurus dengan meningkatnya kemampuan membran filter keramik dalam menurunkan kandungan zat warna *remazol red* dan nilai COD limbah cair batik. Membran filter keramik dengan komposisi tanah liat, pasir silika dan 1% serbuk gergaji kayu paling optimum dalam menurunkan zat warna *remazol red* hingga sebesar 86,68% dan menurunkan nilai COD sebesar 97,87%. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pengukuran terkait ukuran pori yang dihasilkan dan dicari hubungan antara porositas dengan ukuran pori.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada UPT Koperasi Setya Bawana Kasongan dan pengrajin batik daerah Kulon Progo Yogyakarta atas kerjasamanya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Terpadu Kimia UIN Sunan Kalijaga dan Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta atas layanan dan fasilitas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agmalini, Lingga, dan Nasir. 2013. Peningkatan Kualitas Air Rawa Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat Alam dan Abu Terbang Batubara. *Journal Teknik Kimia*, 10 (2).
- Amin, M. dan Irawan, B. 2008. Pengaruh Tekanan Kompaksi Terhadap Karakterisasi Keramik Kaolin Yang Dibuat Dengan Proses Pressureless Sintering. *Traksi*. 8(1): 40-54.
- Ekowati, G. W. Rahmayanti, M. 2019. Kajian Desorpsi Zat Warna Indigosol Blue Dari Adsorben Humin Hasil Isolasi Tanah Gambut Riau, Sumatera, *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 4(2), 68-75.
- Fuadah, S.R, Rahmayanti, M. 2019. Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna Naftol Blue Black Menggunakan Adsorben Humin Hasil Isolasi Tanah Gambut Riau, Sumatera. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 4(2), 59-67.
- Hubaidillah, Othman, Tai, Jamalludin, Yusuf, Ahmad, Rahman, Jaafar, Kadir, dan Harun. 2020. Novel Hydroxyapatite-Based Bio-Ceramic Hollow fiber Membrane Derived from Waste Cow Bone for Textile Wastewater Treatment. *Journal Chemical Engineering Journal (2020)* 122396.
- Latifah, W.N. dan Rahmayanti, M. 2020. Desorption of Indigosol Blue from Humic Acid Coated Fe₃O₄ Particles, in *Proceeding International Conference Science and Engineering 3*, 169-170.
- Murniati, Tri dan Muljadi. 2013. Pengolahan Limbah Batik Cetak Dengan Menggunakan Metode Filtrasi-Elektrolisis Untuk Menentukan Efisiensi Penurunan Parameter COD, BOD, dan Logam Berat (Cr) Setelah Perlakuan Fisika-Kimia. *Jurnal Ekuilibrium*, 12(1), 27-36.
- Nainggolan, Purluhutan Ricardo. 2015. *Pengendalian Fouling pada Sistem Pengolahan Air Berbasis Membran*. Bandung: Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.
- Prameswari, Tania. 2013. *Sintesis Membran Kitosan-Silika Abu Sekam Padi untuk Dekolorisasi Zat Warna Congo Red*. Semarang; Universitas Negeri Semarang.
- Prandini, M. N. dan Rahmayanti, M. 2020. Effect pH Adsorption of Naphtol Dye Using Humic Acid Adsorbent Result of Peat Isolation from Kalimantan, in *Proceeding International Conference Science and Engineering 3*, 147-151.

- Rahmayanti, M., Yunita, E., dan Putri, N. F. Y. 2020. Study of Adsorption-Desorption on Batik Industrial Dyes (Naphthol Blue Black) on Magnetite Modified Humic Acid (HA-Fe₃O₄), *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 23(7), 244-248.
- Santi G.C. dan Rahmayanti, M. 2019. Effect of Solution pH to Indigosol Blue Adsorption on Humic Acid Isolated from Kalimantan Peat Oil, in *Proceeding International Conference Science and Engineering 2*, 193-195.
- Tolba, Bastaweesy, Ashour, Abdelmoez, Khalil dan Barakat. 2016. Effective and Highly Recyclable Ceramic Membrane Based on Amorphous Nanosilica for Dye Removal from The Aqueous Solutions. *Arabian Journal of Chemistry*. King Saud University:
- Wahyuni, Anis Tri. 2014. *Sintesis Biosorben Dari Limbah Kayu Jati dan Aplikasinya Untuk Menjerap Logam Pb Dalam Limbah Cair Artifisial*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Wenten, I.G, Hakim, Khoirudin dan Aryanti. 2013. *Polarisasi Konsentrasi dan Fouling pada Membran*. Bandung: Institut Teknik Bandung.