



Utilization of Nylon-Based Eggshell Waste in the Making of Microfiltration Membranes for Reducing Metal Fe^{3+}

Krisna Yudha Syahputra[✉], Malikhatul Hidayah, Wardatul Bahiyyah

Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang
Jalan Prof. Dr. Hamka (Kampus III),-Ngaliyan-Telp. (024) 76433366 Semarang 50185

Info Artikel

Diterima : 14-05-23

Disetujui : 26-08-23

Dipublikasikan : 31-08-23

Keywords:

Membran

CaO

Nilon

Kalsinasi

Mikrofiltrasi

Abstrak

Pemanfaatan limbah cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai bahan aditif untuk pembuatan membran, salah satu kandungan yang bisa dimanfaatkan yaitu CaO. CaO dari cangkang telur bebek dapat diambil menggunakan proses kalsinasi selama 3 jam dengan suhu 900°C. Hasil dari kalsinasi dilakukan uji FTIR, gugus Ca-O terbentuk pada bilangan gelombang gugus 478,62 cm^{-1} . Pembuatan membran dilakukan dengan menambahkan CaO hasil sintesis dalam membran nilon, hasil FTIR terlihat membran nilon-CaO 10%, 20%, dan 30% (b/b) pada bilangan gelombang 444,56 cm^{-1} ; 444,61 cm^{-1} ; dan 444,66 cm^{-1} yang menunjukkan gugus Ca-O. Aplikasi membran nilon-CaO dengan melakukan proses filtrasi terhadap ion logam Fe^{3+} , dilihat dari nilai fluks dan rejeksi penambahan CaO 30% pada membran menghasilkan nilai fluks 147,29 $\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{jam}$, dan rejeksi sebesar 99,6%. Membran nilon-CaO juga dilakukan analisis SEM-EDX-mapping terlihat membran nilon-CaO 30% memiliki ukuran pori 2,77 μm yang termasuk membran mikrofiltrasi asimetrik dimana terkandung unsur Ca 0,46 %massa yang tersebar dalam membran.

Abstract

Eggshell waste can be used as an additive for membrane manufacture; one of the ingredients that can be utilized is CaO. CaO from duck eggshells can be extracted using a calcination process for 3 hours at 900°C. From the FTIR of the calcinated product, Ca-O groups were formed at the group wave number of 478.62 cm^{-1} . The membrane was prepared by adding the synthesized CaO in a nylon membrane, and the FTIR results showed that the 10%, 20%, and 30% nylon-CaO membrane was at wave number 444.56 cm^{-1} , 444.61 cm^{-1} , and 444.66 cm^{-1} , which shows the Ca-O group. The application of the nylon-CaO membrane by carrying out the filtration process for Fe^{3+} metal ions, seen from the flux and rejection values of the addition of 30% CaO to the membrane, resulted in a flux value of 147.29 $\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{hour}$ and a rejection of 99.6%. The nylon-CaO membrane was also carried out by SEM-EDX-mapping analysis. It was seen that the 30% nylon-CaO membrane had a pore size of 2.77 μm which included an asymmetric microfiltration membrane that contained 0.46% mass Ca which was spread throughout the membrane.

© 2023 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang

E-mail: Krisnaydha63@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Keberadaan logam berat dalam lingkungan yang melebihi ambang batas dapat membahayakan kelangsungan makhluk hidup, salah satu senyawa yang terdapat dalam logam berat yaitu ion logam Fe^{3+} . Ion logam Fe^{3+} dapat menyebabkan kekeruhan, korosi, dan dampak lainnya. Industri pabrik kimia, listrik, elektronik, logam, penyepuhan elektro (*electroplating*), cat, dan bahan pewarna merupakan penghasil limbah yang mengandung logam berat, maka dari itu harus dilakukan pengolahan (Karim *et al.*, 2017).

Berbagai metode yang telah dikembangkan untuk menurunkan kadar ion logam Fe^{3+} dari air limbah seperti menggunakan oksidasi, reduksi (Kurniawan *et al.*, 2020), ekstraksi pelarut (Pote *et al.*, 2013), elektrolisis (Yonhly *et al.*, 2020), osmosis (Sari *et al.*, 2018), pertukaran ion (Mulyono *et al.*, 2020), fotokatalisis (Nurillahi *et al.*, 2020), adsorpsi (Fitriyah *et al.*, 2022) dan membran (Lubis *et al.*, 2022). Membran merupakan lapisan tipis penghubung dua fasa cairan (fasa umpan dan fasa permeat) dan bertindak sebagai penghalang (*barrier*) untuk spesi tertentu.

Nilon sering digunakan dalam fabrikasi membran. Nilon digunakan karena tersusun dari ikatan amida yang membuat sifatnya kuat, ringan, stabil pada pH 1 – 14, dan dapat bertahan pada suhu tinggi (Azizo *et al.*, 2017). Membran nilon juga memiliki sifat mekanik baik, ukuran pori besar, dan bersifat hidrofilik sehingga dapat digunakan untuk pengolahan air. Namun, membran nilon memiliki kelemahan yaitu mudah terjadinya *fouling*. *Fouling* merupakan mengendapnya partikel pada permukaan membran yang dapat mengganggu kinerja membran. Oleh karena itu, diperlukan bahan aditif untuk mengurangi *fouling* pada membran. Salah satunya menggunakan CaO yang berasal dari cangkang telur bebek. Cangkang telur bebek tergolong limbah yang tersusun dari 94% $CaCO_3$, 1% $MgCO_3$, 1% kalsium fosfor dan 4% protein (Aminah *et al.*, 2016). Tingginya kadar $CaCO_3$ pada cangkang telur bebek dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembentukan CaO dengan proses kalsinasi (Zahara *et al.*, 2020).

Terbentuknya oksida logam dipengaruhi oleh tingginya suhu kalsinasi pada proses kalsinasi. Cangkang telur memiliki 7.000-17.000 pori dan luas permukaan yang besar, sehingga penggunaan cangkang telur bebek menjadi cara untuk mengurangi limbah dan meningkatkan nilai ekonomis cangkang telur (Muhammad *et al.*, 2020). Menurut Saswita *et al.* (2018) penggunaan CaO untuk pengolahan limbah cair dapat mengurangi konsentrasi logam Fe sebanyak 40%. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu pembuatan membran nilon-CaO untuk pengurangan konsentrasi ion logam Fe^{3+} . Selain itu juga memvariasi penggunaan bahan CaO pada pembuatan membran untuk mengetahui kinerja terbaik pada membran.

Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini CaO (Kalsium Oksida) dari cangkang telur bebek, HCOOH 90 % (Asam Formiat) merk *sintas 90*, benang nilon merk *golden fish*, larutan Fe^{3+} sintesis, dan aquades.

Peralatan yang digunakan adalah alat gelas seperti batang pengaduk, kaca arloji, lumpang alu, labu ukur, gelas beker, desikator, plat kaca ukuran 12 x 5 cm. Peralatan non gelas seperti neraca analitik, ayakan 80 mesh, *furnace*, dan *magnetic stirrer*. Instrumen yang digunakan adalah SEM-EDX-*mapping* (*Phenom pro X desktop SEM with EDX mapping*), FT-IR (*Perkin Elmer*), AAS (*Perkin Elmer*), dan reaktor membran *crossflow*.

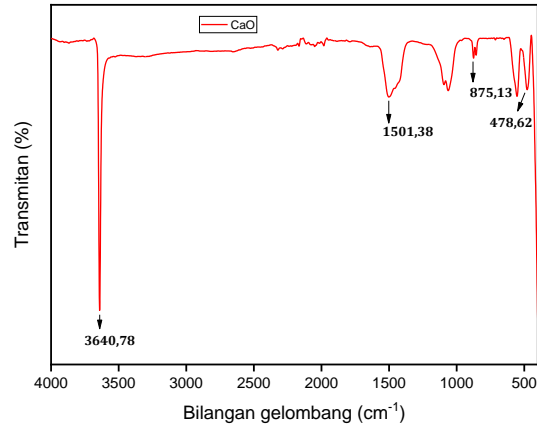
Langkah pertama melakukan sintesis cangkang telur bebek dengan cangkang telur bebek yang sudah didapatkan kemudian dicuci menggunakan air hingga bersih dan lapisan tipis dilepaskan dari cangkangnya. Lalu dianginkan hingga kering. Selanjutnya ditumbuk menjadi lebih kecil. Cangkang telur bebek diayak yang sudah halus dilakukan pengayakan dengan ayakan 80 mesh. Hasil ayakan yang lolos dikalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam. Setelah itu, hasil pemanasan disimpan dalam desikator selama 24 jam. Selanjutnya dikarakterisasi dengan FT-IR (Altaera & Broto, 2020).

Langkah kedua pembuatan membran menggunakan 2,5 gram nilon dan 10 mL asam formiat. Selanjutnya ditambahkan komposisi CaO 10%, CaO 20 %, dan 30% (b/b), dilakukan stirrer selama 60 menit kecepatan 350 rpm, setelah itu membran dicetak pada plat kaca yang diratakan menggunakan batang pengaduk (*casting solution*). Membran yang sudah dicetak dimasukkan dalam bak koagulasi berisi aquades hingga membran terlepas dari plat kaca. Kemudian membran diangkat dan dikeringkan selama 24 jam. (Syakir, 2014). Selanjutnya dikarakterisasi dengan FT-IR.

Membran yang telah jadi dipotong melingkar sesuai alat filtrasi membran (diameter \pm 40 mm). Kemudian dimasukkan larutan Fe dalam reaktor 500 mL dan ditutup rapat kemudian diberi tekanan hingga larutan dapat melewatinya selama 30 menit (Chadiroh, 2021). Konsentrasi larutan sebelum dan sesudah melewati membran digunakan untuk menentukan nilai fluks dan koefisien rejeksi yang diukur menggunakan AAS. Membran dengan nilai fluks dan rejeksi terbesar yang akan dilakukan karakterisasi SEM-EDX-*mapping*.

Hasil dan Pembahasan

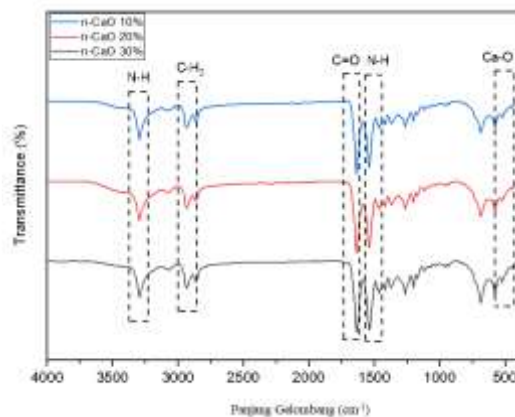
Pembuatan CaO dari cangkang telur bebek berhasil dilakukan dengan kalsinasi selama 3 jam dengan suhu 900°C. Menurut Inthiyah (2022), kalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam dilakukan karena CaO dapat terbentuk pada suhu tersebut dengan mengubah CaCO₃ menjadi CaO. Penggunaan suhu 900°C selama 3 jam juga dapat menghasilkan ukuran cangkang telur lebih kecil dan seragam (Correia *et al.*, 2017). Perubahan ukuran cangkang telur lebih kecil disebabkan terlepasnya gas CO₂ dari proses CaCO₃ menjadi CaO, dimana semakin banyak gas CO₂ terlepas menunjukkan semakin kecil massanya dan jumlah senyawa CaO yang terbentuk (Suryandari *et al.*, 2021). Terbentuknya CaO dapat dilihat melalui spektrum FT-IR pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum FT-IR CaO Cangkang Telur Bebek

Gugus fungsi dari CaO cangkang telur bebek menunjukkan puncak tajam pada daerah bilangan gelombang 3640,78 cm⁻¹ di mana puncak ini menunjukkan adanya gugus O-H dari Ca(OH)₂. Hal ini terjadi karena gugus OH menunjukkan keberadaan air yang teradsorpsi di udara dan mengindikasikan bahwa CaO telah terhidrasi dengan udara. Munculnya puncak yang lemah pada bilangan gelombang 1501,38 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya ikatan O-C-O dari senyawa karbonat (Granados *et al.*, 2007).

Vibrasi tekuk C-O muncul sebagai pita serapan lemah yang berada pada daerah bilangan gelombang 875,13 cm⁻¹. Puncak tersebut menunjukkan CaCO₃ dan Ca(OH)₂ (Miguel *et al.*, 2009). Hal ini menunjukkan bahwa sampel mengandung senyawa selain CaO yang mengindikasikan sampel hasil sintesis belum 100% murni. Namun demikian, keberadaan CaO masih mendominasi. Hal tersebut didukung oleh data pada bilangan gelombang di daerah 478,62 cm⁻¹ yang dapat dijadikan acuan untuk memastikan adanya CaO pada sampel. Hal ini dikarenakan spektrum CaO standar memiliki puncak tajam dengan bilangan gelombang sekitar 400-500 cm⁻¹ berhubungan dengan ikatan Ca-O vibrasi ulur (Sihombing, 2017). Berdasarkan data spektra FT-IR dapat disimpulkan bahwa senyawa CaO dari cangkang telur bebek sudah terbentuk.

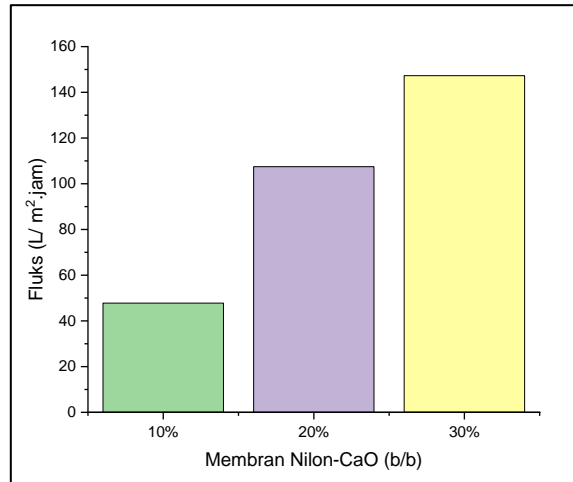


Gambar 2. Spektrum FT-IR Membran Nilon-CaO

Membran nilon dengan penambahan CaO 10%, 20%, dan 30% dilihat pada Gambar 2 dimana memiliki gugus N-H berturut-turut pada bilangan gelombang 3296,67 cm⁻¹ dan 1537,16 cm⁻¹; 3296,25 cm⁻¹ dan 1539,65 cm⁻¹; 3297,24 cm⁻¹ dan 1540,32 cm⁻¹. Gugus lain juga terbentuk pada membran nilon-CaO 10%,

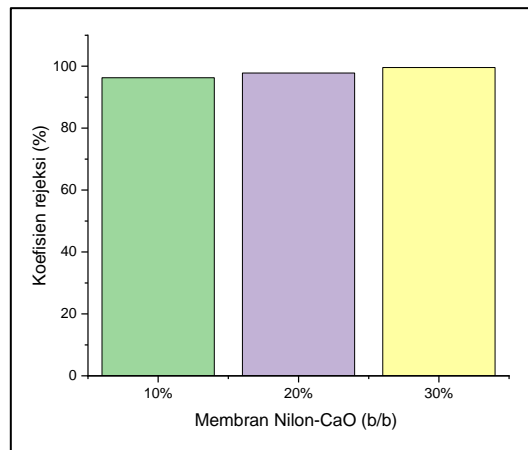
20%, dan 30% yaitu gugus CH_2 , pada bilangan gelombang $2934,81 \text{ cm}^{-1}$; $2934,59 \text{ cm}^{-1}$; dan $2935,92 \text{ cm}^{-1}$. Selain itu munculnya puncak pada bilangan gelombang $1635,76 \text{ cm}^{-1}$; $1635,82 \text{ cm}^{-1}$; dan $1636,56 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan $\text{C}=\text{O}$ atau gugus karbonil. Gugus fungsi CaO pada membran nilon- CaO 10%, 20%, dan 30% muncul pada bilangan gelombang $444,56 \text{ cm}^{-1}$; $444,61 \text{ cm}^{-1}$; dan $444,66 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa dalam penelitian ini membran nilon sudah berhasil terbentuk CaO didalamnya. Menurut Sihombing (2017) CaO standar memiliki puncak tajam dengan bilangan gelombang sekitar $400\text{-}500 \text{ cm}^{-1}$ berhubungan dengan ikatan Ca-O vibrasi ulur.

Proses aplikasi membran menggunakan reaktor membran aliran *crossflow* dengan melakukan uji fluks dan rejeksi pada aquades dan larutan Fe^{3+} menggunakan membran nilon- CaO . Hasil pengukuran nilai fluks membran dapat dilihat pada Gambar 3.



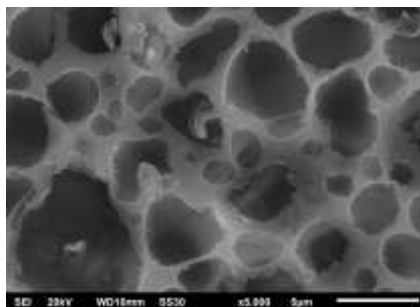
Gambar 3. Hasil Fluks Membran Nilon- CaO

Membran nilon dengan penambahan CaO dapat meningkatkan nilai fluks dimana membran nilon- CaO 30% memiliki fluks paling tinggi sebesar $147,29 \text{ L}/\text{m}^2.\text{jam}$. Peningkatan nilai fluks terjadi karena ukuran pori membran yang besar dan menyebabkan meningkatnya nilai fluks yang berpengaruh pada sedikitnya *fouling* pada membran saat filtrasi. Hasil ini sesuai dengan penelitian Du *et al.* (2020).



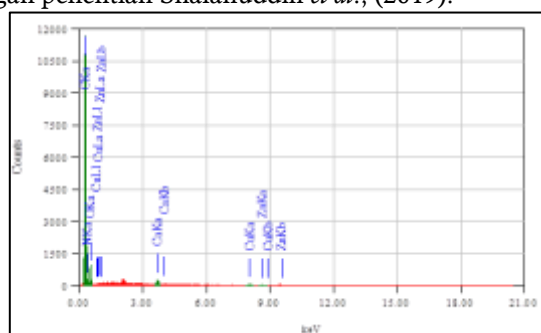
Gambar 4. Hasil Rejeksi Membran Nilon- CaO

Berdasarkan Gambar 4 penambahan CaO dalam membran menunjukkan nilai koefisien rejeksi membran semakin besar dimana membran nilon- CaO 30% dapat mengurangi kadar ion logam Fe^{3+} sebesar 99,58%. Hal ini terjadi karena dengan penambahan CaO menyebabkan kuatnya ikatan logam pada membran yang mengakibatkan membran dapat menyerap ion logam Fe^{3+} . Hasil ini sesuai dengan penelitian Demirkol *et al.* (2021).



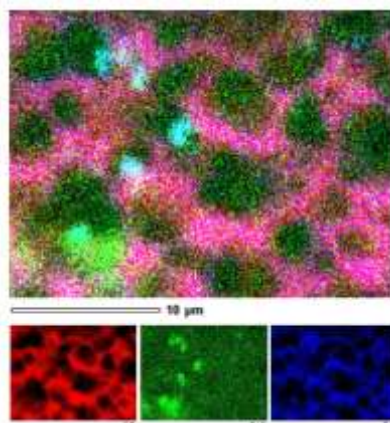
Gambar 5. Perbesaran morfologi SEM 5000 kali membran nilon-CaO 30%

Membran dengan penambahan CaO 30% (Gambar 5.) melalui SEM dengan perbesaran 5000 kali terlihat permukaan membran memiliki rata-rata pori yaitu 2,77 μm . Menurut Suryandari (2019) perbesaran ukuran pori terjadi karena adanya penambahan material dalam membran yang menyebabkan membran bersifat porous. Berdasarkan ukuran pori, membran nilon-CaO tersebut termasuk membran mikrofiltrasi simetrik. Hasil ini sesuai dengan penelitian Shalahuddin *et al.*, (2019).



Gambar 6. Analisis EDX membran nilon-CaO 30%

Analisis membran nilon-CaO 30% dengan EDX untuk memastikan adanya unsur C, N, O, dan Ca. Berdasarkan EDX membran nilon-CaO 30% (Gambar 6) kandungan Ca dalam membran tersebut sebesar 0,46 %massa, hal ini menunjukkan bahwa penambahan CaO dalam membran berhasil. Hasil ini sesuai dengan penelitian Mahmoud *et al.*, (2022).



Gambar 7. Analisis mapping membran nilon-CaO 30%

Analisis mapping dilakukan untuk mengetahui sebaran material dalam membran, dilihat dari (Gambar 7) membran nilon-CaO 30% memiliki unsur Ca yang ditunjukkan warna hijau dan tersebar secara merata, hasil ini sesuai dengan penelitian Alhanif *et al.* (2018).

Simpulan

Pembuatan CaO dari cangkang telur bebek telah berhasil dilakukan, dilihat dari hasil FT-IR hasil gugus Ca-O muncul pada bilangan gelombang 478,62 cm^{-1} . Gugus ini juga muncul pada hasil FT-IR pembuatan membran nilon-CaO 10%, 20%, dan 30% (b/b) pada bilangan gelombang 444,56 cm^{-1} ; 444,61

cm⁻¹; dan 444,66 cm⁻¹ yang menunjukkan membran nilon sudah berhasil terbentuk CaO didalamnya. Penambahan CaO 30% pada membran menghasilkan nilai fluks 147,29 L/m².jam, dan mengurangi kadar ion logam Fe³⁺ sebesar 99,6 %. Analisis SEM-EDX-*mapping* terlihat membran nilon-CaO 30% memiliki ukuran pori 2,77 µm yang tergolong membran mikrofiltrasi simetrik dengan kandungan unsur Ca 0,46 %massa yang tersebar dalam membran.

Daftar Referensi

- Alhanif, M., Purnomo, A., Zuhra, U. A., & Kumoro, A. C. (2018). Preparation And Characterization Of Cao Catalyst - Polyethersulfone (PES) Membrane For Biodiesel Production And Purification. *AIP Conference Proceedings*, 2026. <https://doi.org/10.1063/1.5065045>
- Altaera, Y. S., & Broto, R. T. W. (2020). *Utilization Of Chicken Egg Shell Waste As A Cao Catalyst For Used Cooking Oil Biodiesel* (Vol. 01, Issue 1).
- Aminah, S., & Meikawati, W. (2016). *Calcium Content And Flour Yield Of Poultry Eggshell With Acetic Acid Extraction*.
- Azizo, A. S., Wirzal, M. D. H., Bilad, M. R., & Yusoff, A. R. M. (2017). Assessment Of Nylon 6, 6 Nanofibre Membrane For Microalgae Harvesting. *AIP Conference Proceedings*, 1891. <https://doi.org/10.1063/1.5005365>
- Chadiroh, L. (2021). *Sintesis Membran Silika Sekam Padi Termodifikasi Zeolit-Semen Untuk Proses Dekolorisasi Remazol Black B*. Uin Walisongo.
- Correia, L. M., Cecilia, J. A., Rodríguez-Castellón, E., Cavalcante, C. L., & Vieira, R. S. (2017). Relevance Of The Physicochemical Properties Of Calcined Quail Eggshell (Cao) As A Catalyst For Biodiesel Production. *Journal Of Chemistry*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5679512>
- Demirkol, T. G., Çelik, S. Ö., Güneş Durak, S., Acarer, S., Çetin, E., Akarçay Demir, S., & Tüfekci, N. (2021). Effects Of Fe(OH)₃ And MnO₂ Floccs On Iron/Manganese Removal And Fouling In Aerated Submerged Membrane Systems. *Polymers*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/Polym13193201>
- Du, X., Shi, Y., Jegatheesan, V., & Ul-Haq, I. (2020). A Review On The Mechanism, Impacts And Control Methods Of Membrane Fouling In MBR System. In *Membranes* (Vol. 10, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/Membranes10020024>
- Fitriyah, Akbar, T., & Alfandi, I. (2022). Pengolahan Limbah Cair Batik Banten Secara Koagulasi Menggunakan Tawas Dan Adsorpsi Dengan Memanfaatkan Zeolit Alam Bayah. *Serambi Engineering*, VII.
- Granados, M. L., Poves, M. D. Z., Alonso, D. M., Mariscal, R., Galisteo, F. C., Moreno-Tost, R., Santamaria, J., & Fierro, J. L. G. (2007). Biodiesel From Sunflower Oil By Using Activated Calcium Oxide. *Applied Catalysis B: Environmental*, 73(3), 317–326. <https://doi.org/10.1016/J.Apcatb.2006.12.017>
- Inthiyah, N. (2022). *Kombinasi Serbuk Daun Mengkudu (Morinda Citrifolia L) Dan Cao Dari Cangkang Telur Bebek Sebagai Adsorben Pengolahan Minyak Goreng Bekas*. Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Karim, M. A., Juniar, H., Fitria, M., & Ambarsari, P. (2017). *Adsorpsi Ion Logam Fe Dalam Limbah Tekstil Sintesis Dengan Menggunakan Metode Batch* (Vol. 2, Issue 2).
- Kurniawan, P., Kasmiyatun, M., & Soebiyono. (2020). Reduksi Kandungan Logam Berat Fe Pada Air Sungai Jetis Salatiga Secara Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif. *Journal Of Chemical Engineering*, 1(1).

- Lubis, K. L., Elystia, S., Ermal, D. A. S., & Zultiniar, Z. (2022). Penyisihan Logam Fe Pada Air Gambut Menggunakan Membran Chitosan Sebagai Adsorben. *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN*, 8(1), 15–24. <https://doi.org/10.29303/Jstl.V8i1.298>
- Mahmoud, A., Saied, M. A., Naser, A., & Fahmy, A. (2022). Synthesis And Characterization Of Nylon 6,6-Polyvinyl Alcohol-Based Polyelectrolytic Membrane. *Arabian Journal For Science And Engineering*. <https://doi.org/10.1007/S13369-022-07537-3>
- Miguel, G.-R., Juan, H., Leticia, B., Joaquín, N.-M., & E, R.-G. M. (2009). Characterization Of Calcium Carbonate, Calcium Oxide, And Calcium Hydroxide As Starting Point To The Improvement Of Lime For Their Use In Construction. *Journal Of Materials In Civil Engineering*, 21(11), 694–698. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2009\)21:11\(694\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:11(694))
- Muhammad, F., Yusriani,), & Dewi, S. (2020). EFEKTIVITAS CANGKANG TELUR AYAM NEGERI (*Gallus Gallus Domesticus*) SEBAGAI ADSORBEN TERHADAP DAYA JERAP LOGAM BERAT MERKURI (Hg²⁺). *Jurnal Techlink*, 4(2). <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/07/27/konsumsi-telur-ayam-ras-diprediksi>
- Mulyono, S., Mulyani, W., & Kriswandana, F. (2020). Efektifitas Media Penukar Ion Zeolit dan Ferolit dalam Menurunkan Kadar Fe Air Sumur. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 11. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33846/Sf11nk416>
- Nurillahi, R., Halimah, D. N., Apriliani, D. G., & Fatimah, I. (2020). *PENGOLAHAN LIMBAH BATIK CAIR MENGGUNAKAN FOTOKATALIS TiO₂-ABU VULKANIK DESA WUKIRSARI YOGYAKARTA*.
- Pote, L. L., Aprilita, N. H., & Suratman, A. (2013). *Penghilangan Interferensi Fe Dan Mn Dengan Ekstraksi Pelarut Pada Penentuan Co Dan Cu Dalam Pirolusit Menggunakan Spektrometri Serapan Atom* (Vol. 23, Issue 2).
- Sari, M., Purwoto, S., Studi, P., Lingkungan, T., Sipil, T., & Perencanaan, D. (2018). *PENURUNAN KANDUNGAN BESI (Fe) DAN MANGAN (Mn) PADA AIR SUMUR MENGGUNAKAN MEMBRAN KERAMIK* (Vol. 70, Issue 1).
- Saswita, N., & Setiani. (2018). *Penggunaan Kapur Tohor (Cao) Dalam Penurunan Kadar Logam Fe Dan Mn Pada Limbah Cair Pewarnaan Ulang Jeans Kabupaten Magelang Tahun 2017* (Vol. 6). <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>
- Shalahuddin, I., & Wibisono, Y. (2019). Mekanisme Fouling Pada Membran Mikrofiltrasi Mode Aliran Searah Dan Silang. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), 6. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.40458>
- Sihombing, T. A. (2017). *Effects Of Decomposition Temperatures And Catalyst Concentration Of Calcium Oxide (Cao) From Chicken Eggshells On Biodiesel Production From Waste Cooking Oil*. Sepuluh Nopember Institute Of Technology Surabaya .
- Suryandari, A. S., Ardiansyah, Z. R., Nurmala, V., Putri, A., Arfiansyah, I., Mustain, A., Dewajani, H., & Mufid, D. (2021). *Sintesis Biodiesel Melalui Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Berbasis Katalis Heterogen Cao Dari Limbah Cangkang Telur Ayam*. 5(1).
- Suryandari, T. E. (2019). *Sintesis Membran Komposit PvdF-Zeolit Untuk Penghilangan Metilen Biru* (Vol. 6, Issue 2).
- Syakir, A. (2014). *Karakterisasi Membran Komposit Nilon-Arang Untuk Proses Filtrasi Timbal*.
- Yonhly, H., Zainal, A., Ibrahim, I., Teknik, J., Politeknik, K., & Lhokseumawe, N. (2020). *Penurunan Kadar Besi Fe²⁺ Dan Mn²⁺ Dengan Metode Elektrolisis* (Vol. 4, Issue 1).
- Zahara, A., Bhernama, G., & Harahap, M. R. (2020). *Literature Review: Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Sintesis Katalis Heterogen Cao Dari Cangkang Telur*.