

Degradasi Metilen Biru Menggunakan Sodalit dari Lempung Alam Terimpregnasi Fe

¹Malik. F, Muhdarina², Nurhayati²

¹Program Studi Magister Kimia, Universitas Riau

²Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293

Abstract

The purpose of this study was to utilize the potential of natural clay in the region, synthesized into sodalite to degrade methylene blue dye. Synthesis of natural clay sodalite was carried out using the reflux method. The clay was leached by 3 M H₂SO₄ for 3 hours, calcination at 750°C for 3 hours, then aging with 5 M NaOH for 7 hours at 80 °C with a magnetic stirrer and refluxed for 8 hours at 100°C, then impregnated by Fe(NO₃)₃·9H₂O and calcined at 300°C for 4 hours. Based on the diffractogram the formation of sodalite were indicated by the peaks of $2\theta = 14.117^\circ$; 19.743° ; 24.598° ; 31.927° dan 35.082° . The results of the sodalite micrograph are full stop. Based on the results of the degradation process of methylene blue by sodalite/Fe-clay Maredan it was found that the highest percentage of methylene blue decolorization was 99.98 %.

Keywords: Maredan clay, methylene blue, sodalite

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan potensi lempung alam daerah Riau, disintesis menjadi sodalit untuk mendegradasi zat warna metilen biru. Sintesis sodalit lempung alam telah dilakukan menggunakan metode refluks. Lempung di leaching menggunakan H₂SO₄ 3 M selama 3 jam, kalsinasi suhu 750°C selama 3 jam, selanjutnya di aging dengan NaOH 5 M selama 7 jam suhu 80°C dengan pengadukan magnetik stirrer dan direfluks selama 8 jam pada suhu 100°C, selanjutnya sodalit diimpregnasi menggunakan Fe(NO₃)₃·9H₂O kemudian kalsinasi pada suhu 300°C selama 4 jam. Berdasarkan difraktogram terbentuknya sodalit ditandai dengan puncak $2\theta = 14,117^\circ$; $19,743^\circ$; $24,598^\circ$; $31,927^\circ$ dan $35,082^\circ$. Hasil mikrograf dari sodalit berupa bulat (spherical) tidak beraturan. Berdasarkan hasil proses degradasi metilen biru oleh sodalit/Fe-lempung Maredan persentasi penghilangan warna metilen biru tertinggi sebesar 99,98 %.

Kata Kunci : Lempung Maredan, metilen biru, sodalit

1. PENDAHULUAN

Produksi zat warna di dunia mencapai 7×10^5 ton/tahun dan 10-15% telah mencemari badan air (1). Menurut data Badan Pusat Statistik Indonesia menunjukkan bahwa produksi tekstil hingga tahun 2019 meningkat 15,29%. sehingga limbah tekstil juga meningkat dan akan berdampak tidak baik terhadap lingkungan dikarenakan adanya kontaminan seperti asam, basa, padatan tersuspensi dan pewarna. Di antara semua kontaminan tersebut, pewarna merupakan salah satu kontaminan yang beracun dan merupakan substansi yang sulit untuk terurai karena cenderung stabil dalam waktu yang lama.

Pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna pada umumnya menggunakan metode adsorpsi seperti arang aktif dan secara mikrobiologi, dari proses adsorpsi terbentuk endapan yang berupa residu hasil penjerapan limbah cair tersebut sehingga menimbulkan masalah baru sedangkan menggunakan metode mikrobiologi yang diuraikan hanya senyawa *biodegradable*, namun tidak untuk senyawa *non biodegradable*. Oleh karena itu harus ada alternatif pengolahan limbah cair yang lebih efektif yaitu metode *Fenton* menggunakan sodalit/Fe sebagai katalis heterogen (2).

Proses *Fenton* merupakan salah satu dari teknologi *Advance Oxidation Processes* (AOPs) yang menghasilkan radikal hidroksil dari reaksi antara H_2O_2 dengan ion Fe sebagai katalis. Proses *Fenton* dapat menggunakan fase heterogen (support katalis) yang memiliki kelebihan karena katalis dapat dilakukan pemisahan, tidak terjadi aglomerasi dan dapat digunakan kembali untuk proses penghilangan pewarna organik, pada umumnya proses *Fenton* digunakan katalis yang bersifat homogen yaitu katalis yang satu fase, namun katalis homegen ini memiliki Kelemahan akan terbentuk reaksi yang dapat menghasilkan endapan $FeOOH^{2+}$ sehingga efektifitas degradasi berkurang [3]. Maka perlu digunakan katalisator heterogen yaitu zeolit sodalit sebagai support katalis ion Fe.

Potensi lempung alam di Provinsi Riau yang cukup besar tepatnya di desa Maredan, Kecamatan Tualang, Kabupaten Siak diperkirakan terdapat potensi lempung sekitar 625.000 ton. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa lempung Maredan mengandung SiO_2 69,976% dan Al_2O_3 26,18% [4]. Besarnya intensitas Si dan Al tersebut maka potensial untuk dijadikan bahan baku pembuatan zeolit sodalit.

Sodalit merupakan salah satu zeolit yang memiliki luas permukaan internal yang

sangat besar dibandingkan luas permukaan bagian luar, sehingga dengan luas permukaan yang besar dan kemampuan pertukaran juga besar zeolite sodalit sangat efektif sebagai support katalis heterogen. Sintesis sodalit dapat dilakukan dengan metode hidrotermal sol-gel dan refluks. Thuadaj & Mukda (5) melaporkan metode refluks termasuk metode yang mudah dan efektif yang dapat menjadikan mineral silika serta alumina menjadi zeolit.

Bentuk kation dan kerangka zeolit dapat berbeda tergantung teknik modifikasi zeolit tersebut, baik dengan cara pertukaran ion dan dealuminasi maupun substitusi isomorfis. menurut Hassan & Hameed (2) bahwa Fe-Zeolit alam sebagai katalis heterogen sangat aktif dalam dekolisasi *reactive blue 4*. Efisiensi penghilangan warna maksimum 98,71%. Liu dkk (7) memodifikasi zeolit alam dengan Fe untuk pemulihan senyawa organik dalam limbah dengan efisiensi sebesar 72%. Singh dkk (8) melaporkan Zeolit Y terimpregnasi Cu sebagai katalis heterogen sangat aktif untuk degradasi pewarna merah Kongo sebesar 93,58%.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang disebutkan di atas maka pada penelitian ini memanfaatkan padatan lempung alam Maredan yang diaktivasi secara kimia dan fisika, selanjutnya zeolit disintesis dengan

menggunakan metode refluks. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan menggunakan konsentrasi aktivator H_2SO_4 3 M dan konsentrasi *mineralizer* NaOH 5 M dengan waktu aging 7 Jam. Selanjutnya zeolit sintetis diimpregnasi menggunakan $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$. Karakteristik zeolit sintetis dianalisis menggunakan XRD dan SEM-EDX. Selain itu, zeolit sintetis yang telah diimpregnasi diaplikasikan sebagai katalis heterogen untuk proses degradasi metilen biru menggunakan metode *Fenton*.

2. METODE PENELITIAN

Lempung Maredan diambil dari Desa Maredan, Kecamatan Tualang, Kabupaten Siak. Lempung Maredan di ambil di tiga titik dengan jarak ± 100 meter. Kemudian dibawa ke Laboratorium Kimia Fisika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau. Lempung dibersihkan, dikeringkan di bawah sinar matahari $\pm 2-3$ hari. Setelah kering lempung dihaluskan selanjutnya diayak dengan ukuran partikel $100 > x > 200$ (mesh). Selanjutnya lempung Maredan dimasukkan ke dalam oven pada suhu $105^\circ C$ selama 24 jam dan didinginkan di dalam desikator untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat pada lempung. Kemudian aktivasi, labu leher tiga 250 mL disiapkan dan masukkan lempung sebanyak 10 g, kemudian pindahkan

100 mL H_2SO_4 3 M. Campuran direfluks di dalam penangas air pada suhu 80°C selama 3 jam. Campuran tersebut disaring untuk memisahkan filtrat dan pasta, dicuci dengan aqua DM hingga pH filtrat mendekati pH netral. Kemudian padatan sisa dikeringkan dalam oven selama 24 jam, selanjutnya dikalsinasi pada suhu 750°C selama 3 jam kemudian lempung didinginkan dalam desikator.

Pada tahap sintesis zeolit, dibuat mengacu kepada laporan Thuadaj & Mukda (5) dengan memodifikasi beberapa langkah. Labu leher tiga 250 mL disiapkan dan masukkan Lempung teraktivasi sebanyak 10 g, lalu ditambahkan larutan NaOH sebanyak 50 mL dengan konsentrasi 5 M. Campuran diaduk menggunakan magnetik stirrer dengan kecepatan 300 rpm pada suhu 80°C dengan waktu aging 7 jam. Campuran yang dihasilkan direfluks pada suhu 100°C selama 8 jam tanpa pengadukan. Hasil yang diperoleh disaring dan dicuci menggunakan aqua DM sehingga didapat pH filtrat mendekati netral. Residu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam.

Pembuatan katalis sodalit-Fe dilakukan dengan mengacu pada laporan Azmi dkk (9). Impregnasi zeolit dilakukan dengan menggunakan metode impregnasi dari ion Fe^{3+} ke dalam support katalis. Sebanyak 20,2

gram $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ditimbang dan dilarutkan menggunakan aqua DM pada labu ukur 250 mL. Kemudian larutan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 500 mL dan diaduk menggunakan pengaduk magnet, kemudian sebanyak 20 gram zeolit ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan sambil diaduk selama 2 jam, Kemudian dipanaskan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 24 jam, setelah itu disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan akuabides sebanyak 1 L. Kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 12 jam, akhirnya sampel yang diperoleh dikalsinasi pada suhu 300°C selama 4 jam. Katalis yang diperoleh disimpan dalam desikator dan siap untuk dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM-EDX serta diaplikasikan untuk mendegradasi metilen biru.

Sebanyak 100 mL larutan metilen biru konsentrasi 50 ppm dimasukkan ke dalam Beaker 250 mL dan diukur pH metilen biru menjadi pH 3 yang diperoleh dengan penambahan H_2SO_4 1 M atau NaOH 1 M. Katalis sebanyak 0,5 g/L ditambahkan kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnet, setelah 30 menit ditambahkan 1 mL H_2O_2 dengan konsentrasi 0,67 M. Proses degradasi metilen biru berlangsung dan absorbansi larutan metilen biru diukur pada

setiap waktu 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit dengan spektrofotometer UV-Vis. Perlakuan ini diulang 3 kali pengulangan. Perlakuan ini juga dilakukan untuk massa katalis 0,25; 1 dan 1,25 g/L. Seluruh data hasil dari kinerja katalis dalam proses degradasi metilen biru disajikan dalam bentuk grafik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis sodalit dari lempung Maredan menggunakan metode refluks kemudian di impregnasi basah dengan ion Fe^{3+} telah berhasil dilakukan pada penelitian ini. Lempung yang telah di-leaching dengan asam kandungannya menjadi lebih murni dan mudah bereaksi, sehingga pembentukan inti kristal akan jauh lebih sempurna. Pada masa peleburan digunakan aging dengan aktivator NaOH dalam pembentukan garam silikat dan aluminat sebagai penyusun dari kerangka zeolit. Kation Na^+ dari aktivator tersebut memiliki peranan penting dalam membangun unit pada kerangka zeolit akibat adanya substitusi Si dan Al (10)

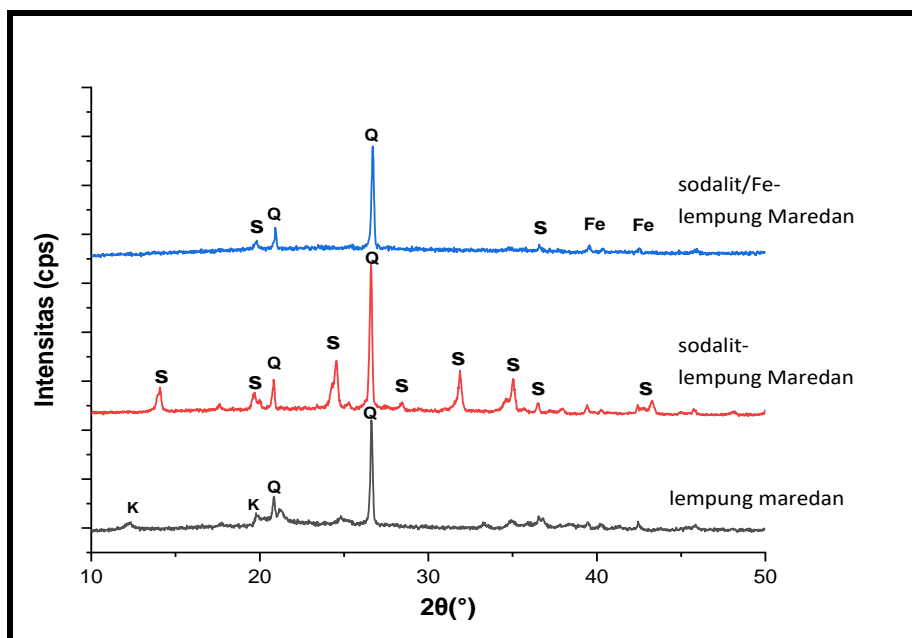
Hasil aging berupa gel tersebut kemudian disintesis menggunakan metode refluks pada suhu 100°C selama 8 jam. Tahap ini merupakan fase pembentukan kristal sehingga gel yang sifatnya amorf akan mengalami penataan ulang pada strukturnya. Adanya pemanasan pada suhu tersebut

menyebabkan pembentukan susunan yang lebih teratur dan pertumbuhan inti kristal.

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui jenis mineral zeolit dan perubahan yang terjadi pada zeolit sebelum dan sesudah impregnasi ion Fe^{3+} . Gambar. 1 menunjukkan hasil karakterisasi XRD lempung Maredan, sodalit-lempung Maredan dan sodalit/Fe-lempung Maredan. Pola difraktogram hasil zeolit diamati sudut 2θ dari 10 hingga 50° , difraktogram zeolit hasil sintesis dibandingkan dengan puncak yang muncul pada JCPDS (Joint Committee on Powder Direction) zeolit sodalit.

Berdasarkan hasil XRD, dapat dilihat bahwa lempung Maredan mengandung kaolin dan kuarsa selanjutnya setelah dilakukan sintesis zeolit dengan NaOH terlihat hilangnya beberapa puncak kaolin serta muncul puncak sodalit yang ditandai dengan munculnya puncak $2\theta = 14,117^\circ; 19,743^\circ; 24,598^\circ; 31,927^\circ; \text{ dan } 35,082^\circ$.

Berdasarkan hasil analisis tersebut tampak bahwa puncak difraktogram transformasi zeolit memberikan puncak yang khas sesuai dengan puncak zeolit standar untuk sodalit. Hal tersebut menunjukkan bahwa zeolit dengan leaching menggunakan asam dan aging terbentuk sodalit disamping adanya mineral kuarsa sebagai pengotor, kemudian pada sampel sodalit-Fe terlihat intensitas



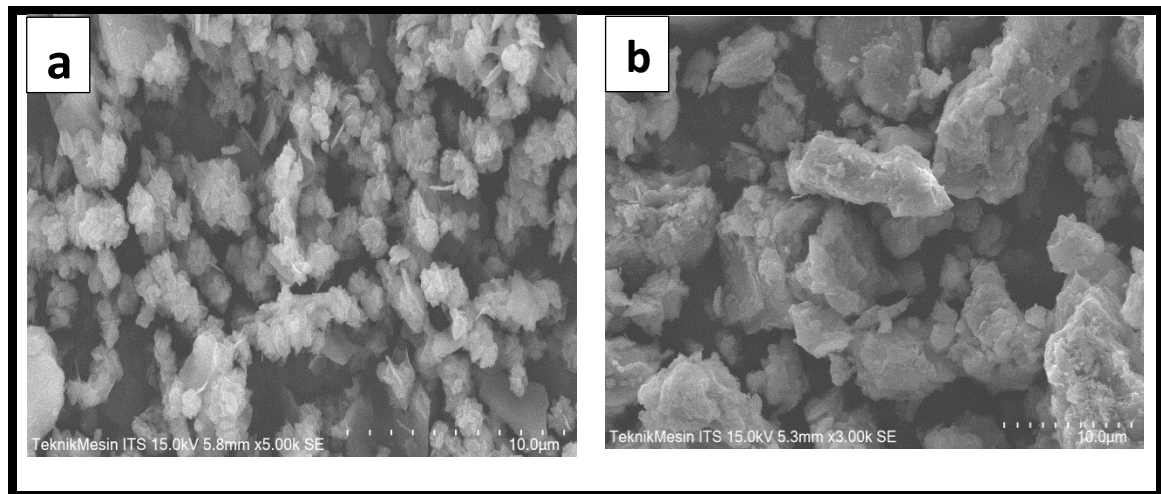
Gambar 1. Pola difraksi sinar-X dari lempung Maredan, sodalit-lempung Maredan dan sodalit/Fe lempung Maredan,; (K: kaolin, S: sodalit, Q: kuarsa)

sodalit menurun dengan adanya penambahan ion Fe^{3+} .

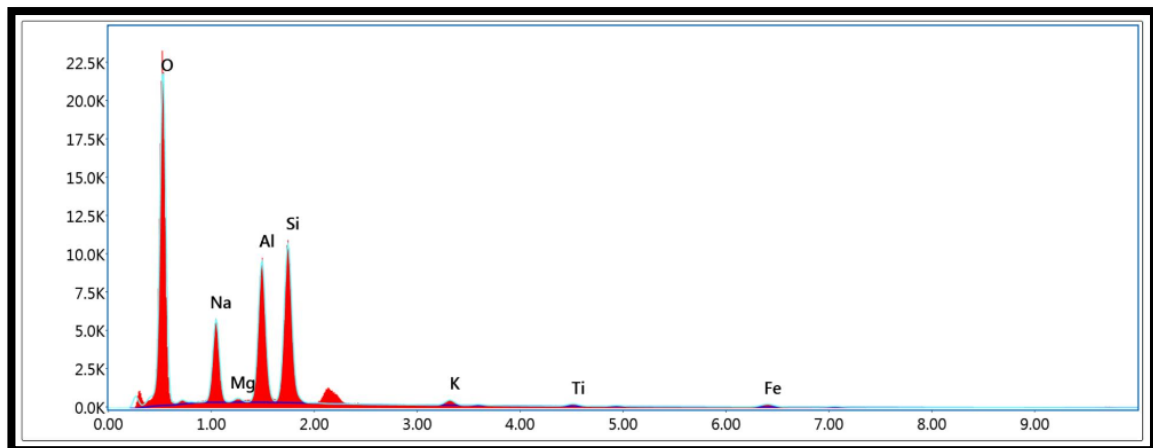
Analisis menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy) bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan dari zeolit yang telah dihasilkan. Selain itu SEM juga menunjukan bentuk serta keseragaman kristal yang menjadi penyusun dasar zeolit. Berdasarkan Gambar 2. sodalit-lempung Maredan(a) memiliki bentuk yang sama dengan morfologi dari zeolit sodalit sesuai dengan hasil penelitian Esfandian dkk (11) yang menyatakan bahwa strukturnya berbentuk spherical tidak beraturan dengan permukaan yang kasar. Setelah dilakukan impregnasi pada sampel (b) sodalit/Fe-lempung Maredan hasil morfologi tidak

menunjukkan perubahan yang signifikan namun terbentuk bongkahan gabungan antar sodalit/Fe-lempung Maredan.

Berdasarkan Gambar 3 & 4, spektra EDX menunjukkan bahwa sampel sodalit-lempung Maredan dan sodalit/Fe-lempung Maredan terdiri dari beberapa unsur penyusun, yaitu Si, Al, Na, K, Mg dan Fe dimana unsur-unsur tersebut diperoleh dari sumber prekursor yang digunakan dalam proses sintesis. Pada Gambar 3 & 4 juga terlihat perbedaan intensitas Fe, pada Gambar 4, spektra EDX sampel sodalit/Fe-lempung Maredan diketahui bahwa intensitas Fe menjadi semakin besar karna berhasilnya impregnasi ion Fe.



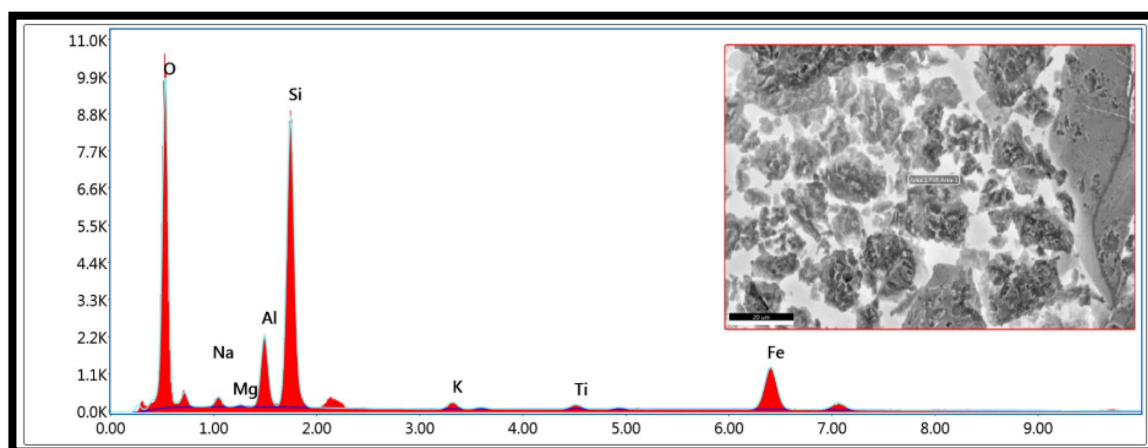
Gambar 2. Morfologi a. sodalit-lempung Marekan, b. sodalit/Fe-lempung Marekan



Gambar 3. Spektra EDX sampel sodalit-lempung Marekan

Sodalit sebelum impregnasi mempunyai rasio Si/Al sekitar 1,14 (Tabel 4.2). Berdasarkan rasio tersebut dapat diketahui lempung Marekan merupakan jenis lempung 1:1 (TO) dengan kerangka yang terbentuk dari tetrahedral (T) dengan oktahedral (O) satu lapisan. Lapisan T adalah tetrahedral silikat yang membentuk partikel dengan lapisan O yaitu oktahedral alumuninat. Sodalit setelah

impregnasi, pada sodalit-Fe mempunyai rasio Si/Al sebesar 3,66 Terjadinya perubahan rasio Si/Al dalam sodalit dapat disebabkan oleh proses pembentukan mineralnya, dimana struktur katalis mengalami proses substitusi isomorfis pada kerangka oktahedral, yaitu posisi Al^{3+} digantikan oleh Fe^{2+} sedangkan Si^{4+} digantikan Al^{3+} atau Fe^{3+} .



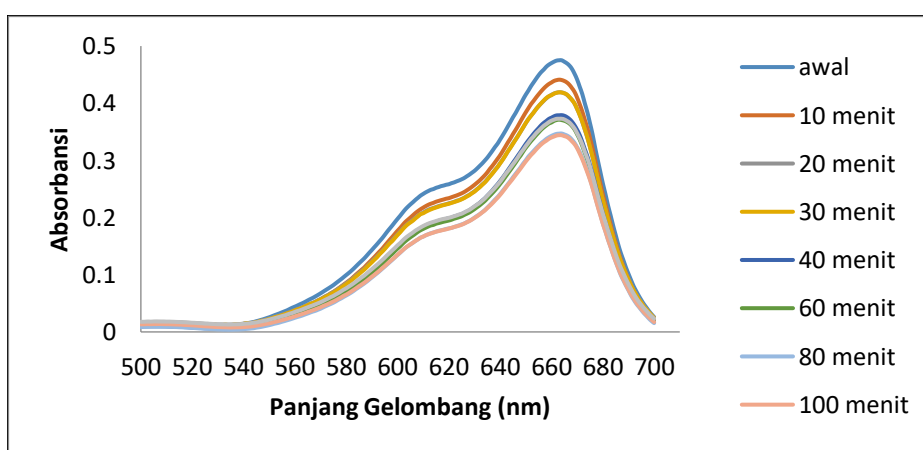
Gambar 4. Spektra EDX sampel sodalit/Fe-lempong Mareidan

Tabel 4.1. Komposisi kimia sodalit-lempong Mareidan dan sodalit/Fe-lempong Mareidan.

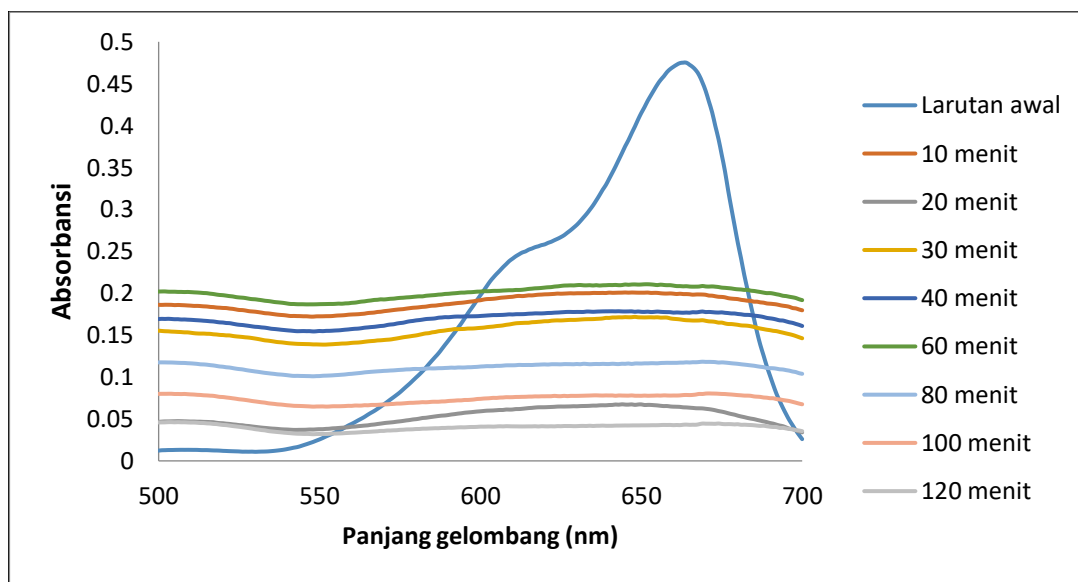
Komposisi	Kadar %	
	Sodalit	Sodalit-Fe
Si	19,60	25,51
Al	16,50	6,69
K	1,24	1,24
O	46,35	35,84
Fe	1,46	27,46
Mg	0,49	0,23

Tabel 4.2. Rasio mol Si/Al sodalit-lempong Mareidan dan sodalit/Fe-lempong Mareidan

Zeolit	Rasio Si/Al (mol)
Sodalit-lempong Mareidan	1,14
Sodalit/Fe-lempong Mareidan	3,66



Gambar 5. Perubahan spektrum metilen biru oleh sampel sodalit-lempong Mareidan ([katalis] = 0,5 g/L, [H₂O₂] = 6,7 mol/L, [MB] = 50 ppm, v = 300 rpm, pH = 3).

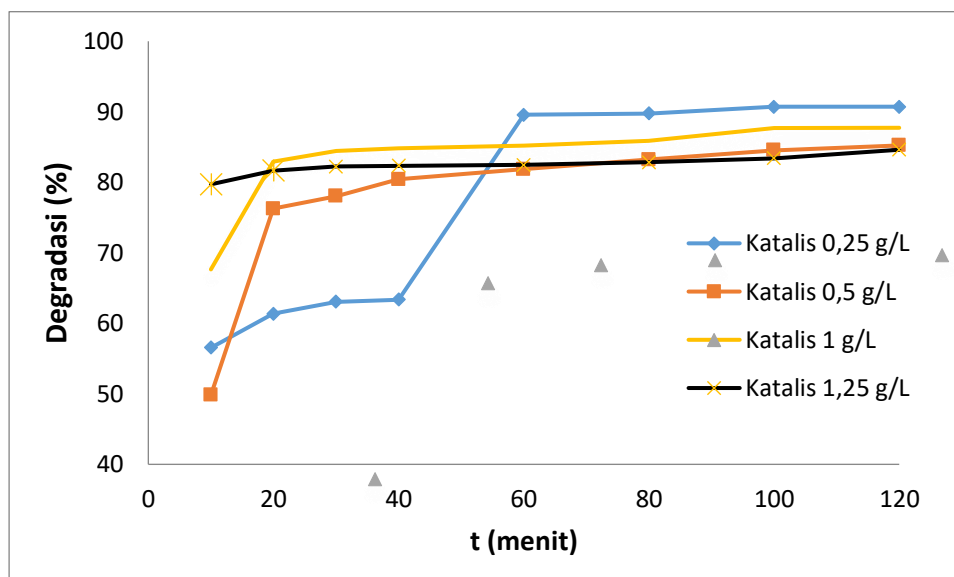


Gambar 6. Perubahan spektrum metilen biru oleh sampel sodalit/Fe-lempung Maredan ([katalis] = 0,5 g/L, [H₂O₂] = 6,7 mol/L, [MB] = 50 ppm, v = 300 rpm, pH = 3).

Hasil dari sintesis sodalit-lempung Maredan tanpa dan impregnasi Fe diaplikasikan dalam proses Fenton yaitu degradasi metilen biru, pada Gambar 5 spektrum sodalit masih terlihat puncak metilen biru yang artinya proses degradasi masih belum optimal atau masih mengandung metilen biru dalam larutan ini disebabkan karna sedikitnya kandungan Fe yang akan bertindak sebagai katalisator logam pada proses reaksi Fenton sedangkan pada Gambar 6, pada sampel sodalit-Fe terlihat jelas bahwa tidak ada puncak metilen biru yang mengidentifikasi bahwa proses Fenton berjalan dengan baik dilihat dari hilangnya kandungan metilen biru dalam larutan ditandai dengan kecilnya absorbansi setelah terjadi proses degradasi dimana dapat dilihat

pada Gambar 7. jumlah persentasi degradasi dari menit 10; 20; 30; 40; 60; 80; 100 dan 120 berturut adalah 99,280; 99,328; 99,353; 99,377; 99,646; 99,792; 99,805 dan 99,988

Penambahan H₂O₂ memiliki peranan penting dalam proses penghilangan metilen biru melalui reaksi Fenton, karena H₂O₂ merupakan sumber pembentukan radikal OH dari proses oksidasi reduksi dengan sodalit/Fe-lempung Maredan yang memiliki peranan penting dalam proses penghilangan metilen biru, karena tanpa adanya sodalit/Fe-lempung Maredan kekuatan oksidasi H₂O₂ tidak cukup untuk menghancurkan pewarna organik. Sodalit/Fe-lempung Maredan diperlukan untuk mendekomposisi H₂O₂ menjadi



Gambar 7. Persen degradasi metilen biru variasi massa katalis (konsentrasi $H_2O_2 = 0,67$ M volume H_2O_2 1 mL, konsentrasi MB 50 ppm, kecepatan 300 rpm, Volume 0,01 L, pH larutan 3).

radikal OH yang memiliki potensial oksidasi yang

Nidhess dan Gandhimathi (13) menyatakan pembentukan radikal OH untuk penguraian pewarna organik berbanding lurus dengan konsentrasi katalis. Berkurangnya konsentrasi katalis akan menurunkan laju penghilangan metilen biru karena sedikitnya situs aktif atau jumlah ion Fe^{2+} yang akan bertindak untuk dekomposisi H_2O_2 menjadi OH radikal untuk mengurai metilen biru.

Bertambahnya konsentrasi katalis meningkatkan tempat situs aktif katalis untuk dekomposisi H_2O_2 dan adsorpsi zat. Kelebihan konsentrasi katalis dari jumlah optimumnya akan mengurangi laju penghilangan metilen biru disebabkan radikal OH dan ion Fe^{2+} bereaksi yang menghasilkan

Fe^{3+} dan OH sehingga jumlah radikal OH berkurang untuk penguraian metilen biru (14).

4. Kesimpulan

Lempung Maredean mengandung Si dan Al yang berpotensi sebagai bahan baku zeolit sodalit dan impregnasi Fe ke dalam sodalit menjadikannya sebagai katalis heterogen yang mampu mendegradasi metilen biru.

Daftar Pustaka

- [1] Oruç, Z., Ergüt, M., Uzunoğlu, D. and Özer, A., 2019. Green synthesis of biomass-derived activated carbon/Fe-Zn bimetallic nanoparticles from lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) wastes for heterogeneous Fenton-like decolorization of Reactive Red 2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(4), p.103231.

- [2] Hassan, H. and Hameed, B.H., 2020. Fe-Natural Zeolite as Highly Active Heterogeneous Catalyst in Decolorization of Reactive Blue 4. *International Journal of Environmental Science and Development*, 11(3).
- [3] Benatti, C.T. and Tavares, C.R.G., 2012, February. Fenton's process for the treatment of mixed waste chemicals. In *Organic pollutants ten years after the Stockholm convention-Environmental and analytical update* (pp. 247-270).
- [4] Dyer, A, "An Introduction to Zeolite Molecular Sieves", John Wiley and Sons Ltd, Chichester, England, 1988.
- [4] Widya, 2018. Pengaruh laju dan waktu pengadukan pada proses flokulasi sampel air sungai Siak menggunakan koagulan cair berbasis lempung alam. Skripsi. Kimia FMIPA. Universitas Riau, Pekanbaru
- [5] Thuadaj, P., 2016. Synthesis and characterization of zeolite derived from Buriram sugarcane bagasse ash and Narathiwat kaolinite. *SNRU Journal of Science and Technology*, 8(3), pp.320-326.
- [6] Zhang, Q., Wang, Q. and Wang, S., 2020. Efficient Heterogeneous Fenton-like Catalysis of Fe-doped SAPO-44 Zeolite Synthesized from Bauxite and Rice Husk. *Chemical Physics Letters*, p.137598.
- [7] Liu, G.H., Wang, Y., Zhang, Y., Xu, X., Qi, L. and Wang, H., 2019. Modification of natural zeolite and its application to advanced recovery of organic matter from an ultra-short-SRT activated sludge process effluent. *Science of The Total Environment*, 652, pp.1366-1374.
- [8] Singh, L., Rekha, P. and Chand, S., 2016. Cu-impregnated zeolite Y as highly active and stable heterogeneous Fenton-like catalyst for degradation of Congo red dye. *Separation and Purification Technology*, 170, pp.321-336.
- [9] Azmi, N.H.M., Ayodele, O.B., Vadivelu, V.M., Asif, M. and Hameed, B.H., 2014. Fe-modified local clay as effective and reusable heterogeneous photo-Fenton catalyst for the decolorization of Acid Green 25. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(4), pp.1459-1467.
- [10] Anita, S., 2014. Karakterisasi Zeolit Dari Mineral Kaolin Yang Berasal Dari Desa Sencalang Kabupaten Indra Giri Hilir. *Photon: Jurnal Sain dan Kesehatan*, 4(2), pp.43-46.
- [11] Esfandian, H., Azizi, A. and Fakhraee, H., 2016. Removal of strontium ions by synthetic nano sodalite zeolite from aqueous solution. *International Journal of Engineering*, 29(2), pp.160-169.
- [12] Bohacs, K., Faitli, J., Bokanyi, L. and Mucsi, G., 2017. Control of natural zeolite properties by mechanical activation in stirred

media mill. Archives of Metallurgy and Materials, 62.

[13] Nidheesh, P.V., Gandhimathi, R. and Ramesh, S.T., 2013. Degradation of dyes from aqueous solution by Fenton processes: a review. Environmental Science and Pollution Research, 20(4), pp.2099-2132.

[14] Wang, S., 2008. A comparative study of Fenton and Fenton-like reaction kinetics in decolourisation of wastewater. Dyes and Pigments, 76(3), pp.714-720.