



## Pengaruh Jenis Asam Mineral Pada Sintesis Acid Activated Montmorillonite Terhadap Struktur, Morfologi, dan Performa Bleaching Earth

Hanifah Sriamelia<sup>1\*</sup>, Riri Jonuarti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitas Negeri Padang, Indonesia  
email: [itshanii28@gmail.com](mailto:itshanii28@gmail.com)

### Article Info :

Received:  
27-03-2026  
Revised:  
07-04-2026  
Accepted:  
19-04-2026

### Abstract

Montmorillonite (MMT) is a clay mineral belonging to the smectite group, characterized by a large surface area, high cation exchange capacity, and a layered structure, making it a promising bleaching earth for palm oil refining. However, natural montmorillonite exhibits limitations, including a low number of active sites and limited porosity, thus requiring acid activation to enhance its performance. This study aims to analyze the effect of different mineral acids on the crystal structure, morphology, and bleaching performance of acid-activated montmorillonite. Activation was carried out using HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> at a concentration of 1 M for 3 hours. Characterization was conducted using X-ray diffraction (XRD) to determine crystallinity, scanning electron microscopy (SEM) to observe surface morphology, and UV-Vis spectrophotometry to evaluate bleaching performance. The XRD results revealed that sulfuric acid produced the largest crystal size (78.8 nm) with the highest degree of homogeneity. Activation with HCl resulted in a crystal size of 64.5 nm, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> yielded 68.3 nm, and HNO<sub>3</sub> produced 68.5 nm. SEM analysis showed the formation of new pores and a rougher surface texture after activation. HCl activation yielded the most favorable surface morphology. Bleaching tests demonstrated a significant reduction in color intensity and β-carotene content in palm oil.

**Keywords:** Adsorption, Acid Activation, Bleaching Earth, Palm Oil, Montmorillonite.

### Abstrak

Montmorillonite (MMT) merupakan mineral lempung dari kelompok smektit yang memiliki luas permukaan besar, kapasitas pertukaran kation tinggi, serta struktur berlapis sehingga berpotensi sebagai bleaching earth dalam pemurnian minyak sawit. Namun, montmorillonite alami memiliki keterbatasan berupa rendahnya jumlah situs aktif dan porositas, sehingga diperlukan aktivasi asam untuk meningkatkan kinerjanya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh jenis asam mineral terhadap struktur kristal, morfologi, dan performa bleaching dari montmorillonite teraktivasi asam. Aktivasi dilakukan menggunakan HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 1 M selama 3 jam. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD untuk analisis kristalinitas, SEM untuk morfologi permukaan, serta UV-Vis untuk evaluasi performa bleaching. Hasil XRD menunjukkan bahwa asam sulfat menghasilkan ukuran kristal terbesar, yaitu 78,8 nm dengan homogenitas terbaik. Aktivasi HCl menghasilkan ukuran 64,5 nm, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebesar 68,3 nm, dan HNO<sub>3</sub> sebesar 68,5 nm. Hasil SEM menunjukkan terbentuknya pori baru dan permukaan lebih kasar. Aktivasi HCl menghasilkan morfologi terbaik. Uji bleaching menunjukkan penurunan signifikan warna dan β-karoten minyak sawit.

**Kata Kunci:** Adsorpsi, Aktivasi Asam, Bleaching Earth, Minyak Sawit, Montmorillonite.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

## PENDAHULUAN

Transformasi industri pengolahan material dalam dua dekade terakhir menunjukkan kecenderungan kuat menuju pemanfaatan material berbasis alam yang dimodifikasi secara kimiawi untuk menghasilkan kinerja fungsional yang lebih tinggi, terutama dalam konteks pemurnian minyak nabati yang menuntut efisiensi adsorpsi dan stabilitas kimia yang optimal. Dalam lanskap global tersebut, lempung mineral, khususnya montmorillonite (MMT), memperoleh perhatian signifikan karena karakteristik intrinsiknya berupa luas permukaan spesifik yang besar, kapasitas pertukaran kation yang tinggi, serta struktur berlapis yang memungkinkan interkalasi dan adsorpsi berbagai molekul aktif (Surjandari et al., 2021). Struktur kristal berlapis yang tersusun dari unit tetrahedral oktahedral ini menciptakan ruang antarlapisan yang dinamis, sehingga menjadikan MMT sebagai

kandidat strategis dalam pengembangan material adsorben fungsional. Relevansi ini semakin menguat seiring meningkatnya kebutuhan industri terhadap bleaching earth yang mampu meningkatkan kualitas minyak melalui eliminasi pigmen, logam berat, dan senyawa oksidatif secara selektif (Tirtaadmaja, 2019).

Kajian empiris terdahulu secara konsisten menunjukkan bahwa performa montmorillonite sebagai bleaching earth tidak semata ditentukan oleh sifat alaminya, melainkan sangat dipengaruhi oleh perlakuan kimia yang mengubah struktur mikro dan distribusi pori material tersebut. Aktivasi asam muncul sebagai pendekatan dominan yang mampu meningkatkan luas permukaan spesifik, menghilangkan kation pengganggu, serta memodifikasi struktur kristal sehingga memperkuat kapasitas adsorpsi (Ali et al., 2021). Penelitian lanjutan menunjukkan bahwa variasi jenis asam tidak hanya mempengaruhi derajat de-aluminasi, tetapi juga menginduksi perubahan signifikan pada morfologi permukaan dan distribusi ukuran pori yang berimplikasi langsung terhadap efisiensi adsorpsi (Ayyubi & Admaja, 2020). Dalam penggunaan montmorillonite teraktivasi asam bahkan telah diperluas ke aplikasi katalitik dan energi, menunjukkan fleksibilitas struktural yang tinggi serta potensi integrasi lintas sektor (Balbay et al., 2020; Zeynizadeh & Rahmani, 2019).

Sintesis kritis terhadap literatur menunjukkan adanya inkonsistensi dalam pelaporan pengaruh spesifik jenis asam mineral terhadap karakteristik struktural dan performa adsorpsi montmorillonite. Sebagian penelitian melaporkan bahwa asam kuat seperti  $H_2SO_4$  menghasilkan peningkatan luas permukaan yang signifikan, namun di sisi lain dapat menyebabkan kerusakan struktur kristal yang berlebihan sehingga menurunkan stabilitas material (Zeng et al., 2023). Studi lain menunjukkan bahwa asam dengan sifat oksidatif seperti  $HNO_3$  dapat memodifikasi komposisi kimia secara lebih agresif, tetapi tidak selalu menghasilkan peningkatan performa adsorpsi yang proporsional (Alexandra et al., 2015).

Ketidakkonsistenan ini diperparah oleh variasi metodologi karakterisasi dan parameter eksperimental yang digunakan, sehingga menyulitkan perbandingan langsung antar studi serta menghambat pembentukan kerangka konseptual yang komprehensif. Keterbatasan lain yang teridentifikasi terletak pada kurangnya integrasi analisis multi-teknik dalam mengevaluasi hubungan antara struktur kristal, morfologi permukaan, dan performa bleaching secara simultan. Sebagian besar penelitian cenderung berfokus pada satu aspek karakterisasi, seperti analisis kristalinitas menggunakan XRD atau pengamatan morfologi menggunakan SEM, tanpa mengaitkannya secara sistematis dengan performa adsorpsi yang diukur melalui teknik spektrofotometri (Adhika et al., 2018; Afandi & Purwanto, 2018).

Pendekatan komprehensif yang menggabungkan analisis struktural, morfologis, dan kinerja optik sangat diperlukan untuk memahami mekanisme adsorpsi secara mendalam. Keterbatasan ini mengindikasikan adanya celah metodologis yang signifikan dalam literatur yang ada. Urgensi ilmiah dari penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk mengelucidasi secara sistematis pengaruh jenis asam mineral terhadap transformasi struktur dan morfologi montmorillonite serta implikasinya terhadap performa bleaching dalam konteks pemurnian minyak sawit. Dari perspektif praktis, optimalisasi jenis asam aktivator memiliki implikasi langsung terhadap efisiensi proses industri, biaya produksi, serta kualitas produk akhir yang dihasilkan.

Dalam pemilihan kondisi aktivasi yang tepat juga berpotensi mengurangi penggunaan bahan kimia berlebih dan meminimalkan dampak lingkungan. Penelitian yang mampu menghubungkan parameter sintesis dengan performa fungsional secara terintegrasi memiliki nilai strategis baik secara akademik maupun industrial. Penelitian ini diposisikan untuk mengisi celah konseptual dan empiris tersebut dengan mengkaji secara komparatif pengaruh empat jenis asam mineral terhadap karakteristik kristal, morfologi permukaan, dan performa bleaching dari montmorillonite teraktivasi asam melalui pendekatan karakterisasi multi-teknik yang terintegrasi.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi hubungan kausal antara jenis asam aktivator dan perubahan sifat material yang dihasilkan, serta untuk merumuskan parameter sintesis yang optimal dalam pengembangan bleaching earth berbasis montmorillonite. Kontribusi teoretis penelitian ini terletak pada penguatan kerangka pemahaman mengenai mekanisme modifikasi struktur lempung melalui aktivasi asam, sementara kontribusi metodologisnya mencakup integrasi analisis XRD, SEM, dan UV-Vis dalam satu kerangka evaluasi yang komprehensif guna menghasilkan interpretasi yang lebih robust dan aplikatif.

## METODE PENELITIAN

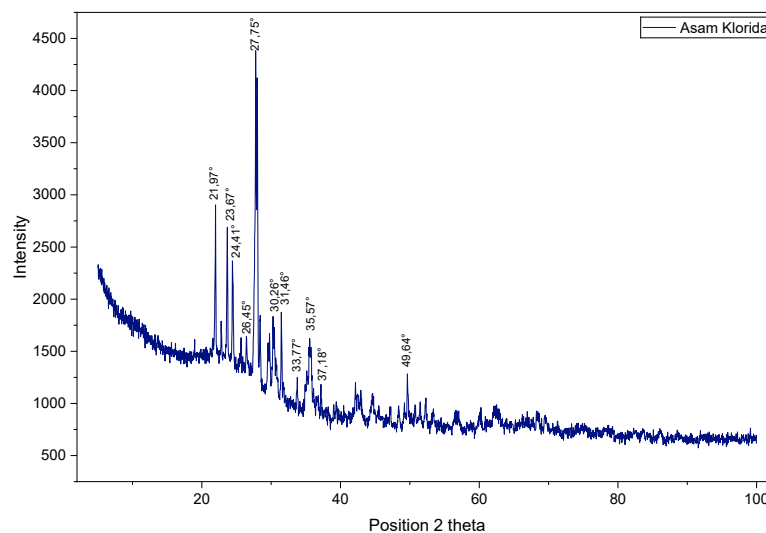
Penelitian ini merupakan studi eksperimen empiris yang dirancang untuk mengevaluasi pengaruh jenis asam mineral terhadap karakteristik montmorillonite teraktivasi asam. Bahan utama berupa montmorillonite diperoleh dari Gunung Marapi, Sumatera Barat, yang terlebih dahulu dipreparasi melalui pencucian menggunakan aquades, pengeringan pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$ , dan pengayakan hingga ukuran 200 mesh untuk memperoleh distribusi partikel yang homogen. Proses aktivasi asam dilakukan dengan mereaksikan 1 gram montmorillonite dalam 100 mL larutan asam berkonsentrasi 1 M selama 3 jam pada suhu ruang menggunakan magnetic stirrer, dengan variasi asam meliputi HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan  $\text{HNO}_3$  sebagai variabel independen. Setelah reaksi selesai, sampel dicuci menggunakan air deionisasi hingga mencapai pH netral untuk menghilangkan sisa asam, kemudian dikeringkan dalam oven guna memperoleh acid-activated montmorillonite yang siap dikarakterisasi. Tahap karakterisasi dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) untuk analisis struktur kristal dan ukuran kristalit, Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk observasi morfologi permukaan, serta UV-Vis spectrophotometer untuk mengukur sifat optik sebagai indikator performa bleaching material (Ali et al., 2021; Adhika et al., 2018).

Prosedur pengujian kinerja bleaching dilakukan menggunakan minyak sawit mentah (CPO) sebagai media uji dengan pendekatan adsorpsi termal, di mana sebanyak 20 gram minyak dipanaskan pada suhu  $90\text{--}110^{\circ}\text{C}$  sebelum ditambahkan 1 gram montmorillonite teraktivasi sebagai adsorben. Campuran diaduk selama 30–60 menit untuk memastikan interaksi optimal antara adsorben dan komponen pengotor, kemudian dilakukan proses filtrasi untuk memisahkan fase minyak dari material padat. Evaluasi performa bleaching dilakukan melalui pengukuran absorbansi menggunakan UV-Vis spectrophotometer untuk menentukan penurunan intensitas warna dan kandungan  $\beta$ -karoten sebagai indikator utama efektivitas adsorpsi. Validasi hasil dilakukan dengan membandingkan perubahan nilai absorbansi sebelum dan sesudah perlakuan, serta mengkorelasikan data tersebut dengan hasil karakterisasi struktur dan morfologi untuk memperoleh hubungan kausal antara jenis asam aktivator dan performa material. Metrik evaluasi kinerja yang digunakan meliputi efisiensi penurunan absorbansi, perubahan ukuran kristal, serta karakteristik morfologi permukaan sebagai parameter komprehensif dalam menilai kualitas bleaching earth yang dihasilkan (Afandi & Purwanto, 2018).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

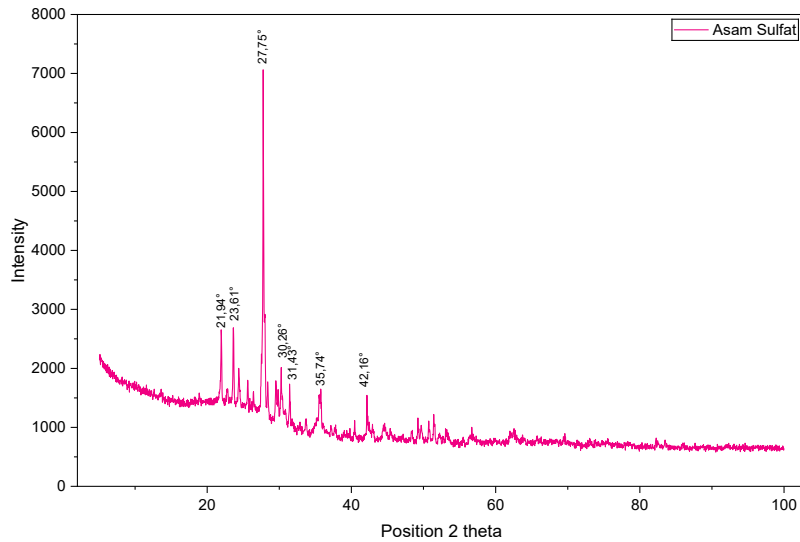
### Karakterisasi Struktur Kristal Menggunakan XRD

Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa variasi jenis asam memberikan pengaruh terhadap ukuran kristal dan tingkat kristalinitas montmorillonite.



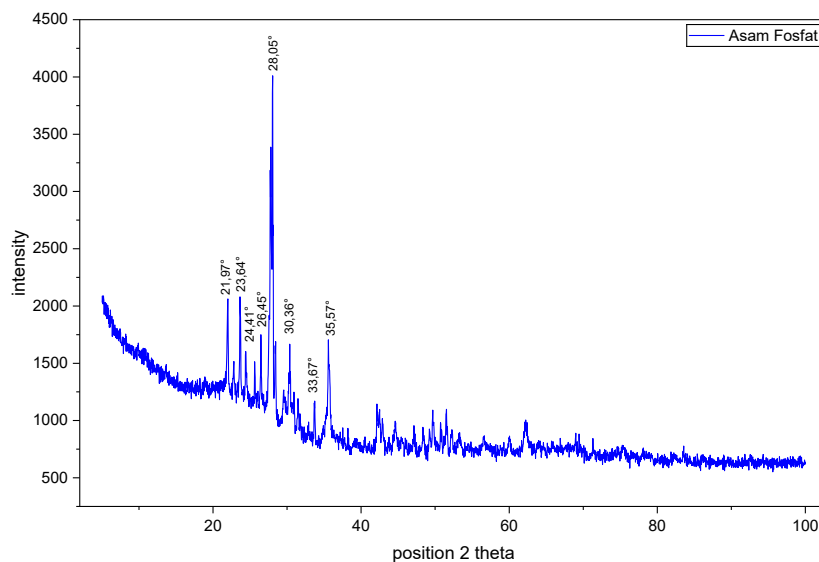
Gambar 1. Pola difraksi HCl menggunakan XRD

Montmorillonite yang diaktivasi menggunakan HCl memiliki ukuran kristal pada rentang 36,5-84,7 nm dengan nilai rata-rata 64,5 nm. Nilai FWHM yang relative kecil pada beberapa puncak menunjukkan tingkat kristalinitas yang cukup baik. Namun, distribusi ukuran kristal masih belum homogen.



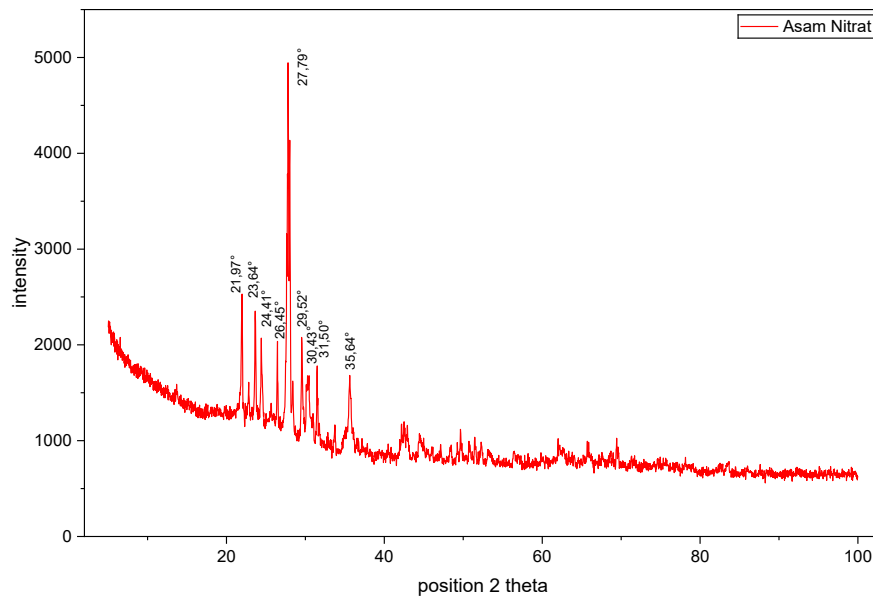
Gambar 2. Pola difraksi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menggunakan XRD

Montmorillonite menggunakan asam sulfat menghasilkan ukuran kristal 62,3-87,4 nm dengan rata-rata 78,7 nm. hasil ini menunjukkan bahwa asam sulfat menghasilkan sktuktur kristal yang lebih teraktur dan homogen dibanding asam lainnya. Nilai FWHM yang kecil menunjukkan kualitas kristal yang baik.



Gambar 3. Pola difraksi montmorillonite yang diaktivasi asam sulfat

Pada aktivasi menggunakan asam fosfat diperoleh ukuran kristal 41,2-84 nm dengan rata-rata 68,3 nm. struktur kristal yang terbentuk cukup baik, tetapi homogenitasnya masih rendah dibangikngkan dengan asam sulfat.



**Gambar 4. Pola difraksi montmorillonite yang diaktivasi asam nitrat**

Aktivasi menggunakan asam nitrat menghasilkan ukuran kristal 50,8-84 nm dengan rata-rata 68,5 nm. distribusi ukuran kristal lebih stabil dibandingkan dengan asam klorida dan asam fosfat, tetapi masih berada dibawah kualitas kristal yang dihasilkan oleh asam sulfat. Secara umum, aktivasi asam menyebabkan perubahan intensitas puncak difraksi yang menunjukkan adanya perubahan struktur kristal montmorillonite akibat pelarutan ion logam dan pembentukan pori baru.

Analisis difraksi sinar-X menunjukkan bahwa perlakuan aktivasi asam menghasilkan perubahan signifikan pada pola kristal montmorillonite. Pergeseran puncak difraksi dan variasi intensitas mengindikasikan terjadinya dealuminasi dan pelarutan kation interlayer. Fenomena ini berkaitan dengan modifikasi struktur kisi kristal akibat interaksi antara asam mineral dan lapisan silikat. Teknik XRD telah lama digunakan untuk mengevaluasi perubahan struktur kristal material berlapis seperti montmorillonite (Hakim & Dirgantara, 2019). Aktivasi menggunakan HCl menghasilkan ukuran kristal rata-rata sebesar 64,5 nm dengan distribusi yang cukup luas. Nilai FWHM yang relatif kecil pada beberapa puncak menunjukkan tingkat kristalinitas yang masih terjaga. Variasi ukuran kristal mencerminkan bahwa proses aktivasi belum berlangsung secara seragam pada seluruh partikel. Kondisi ini sesuai dengan laporan bahwa aktivasi asam kuat dapat melarutkan sebagian kation tanpa merusak seluruh struktur kristal (Sharma & Sarasan, 2017).

Penggunaan  $H_2SO_4$  menunjukkan hasil yang berbeda dengan ukuran kristal rata-rata sebesar 78,7 nm. Struktur kristal tampak lebih homogen yang ditunjukkan oleh penyempitan distribusi ukuran partikel. Nilai FWHM yang kecil mengindikasikan peningkatan keteraturan kristal. Hal ini menguatkan temuan bahwa asam sulfat mampu menghasilkan struktur kristal yang lebih stabil melalui mekanisme protonasi yang lebih intensif (Krupskaya et al., 2017). Aktivasi menggunakan  $H_3PO_4$  menghasilkan ukuran kristal rata-rata sebesar 68,3 nm dengan distribusi yang tidak homogen. Struktur kristal masih menunjukkan adanya variasi ukuran yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa asam fosfat memiliki kemampuan aktivasi yang lebih moderat dibandingkan asam kuat lainnya. Sifat ini dikaitkan dengan karakter asam fosfat yang cenderung mempertahankan struktur berlapis (Mele et al., 2023).

Pada penggunaan  $HNO_3$ , ukuran kristal rata-rata yang diperoleh adalah 68,5 nm dengan distribusi yang lebih stabil dibandingkan HCl dan  $H_3PO_4$ . Meskipun demikian, tingkat homogenitas masih berada di bawah hasil yang diperoleh dari  $H_2SO_4$ . Variasi ini menunjukkan bahwa kekuatan oksidatif asam nitrat turut memengaruhi proses modifikasi struktur. Interaksi ini dapat menyebabkan pelarutan parsial kation logam dalam kisi kristal (Shen Tong et al., 2013). Perbandingan antar jenis asam menunjukkan bahwa kekuatan asam dan sifat kimianya berperan penting dalam menentukan hasil aktivasi. Asam kuat seperti  $H_2SO_4$  cenderung menghasilkan struktur yang lebih teratur. Sementara itu, asam dengan karakter

berbeda memberikan efek yang lebih variatif terhadap ukuran kristal. Hubungan ini menunjukkan keterkaitan antara sifat kimia asam dan perubahan struktur material (Shwan et al., 2024).

Data pada tabel di atas memperlihatkan bahwa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  menghasilkan ukuran kristal terbesar dan distribusi paling sempit. Hal ini menunjukkan tingkat homogenitas struktur yang lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Sebaliknya,  $\text{HCl}$  menghasilkan rentang ukuran yang paling luas yang mengindikasikan ketidakteraturan proses aktivasi. Interpretasi ini konsisten dengan pengaruh jenis asam terhadap struktur kristal montmorillonite (Horri et al., 2020). Perubahan intensitas puncak difraksi juga menunjukkan adanya penurunan kandungan mineral pengotor. Pelarutan ion seperti  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , dan  $\text{Ca}^{2+}$  menyebabkan terbentuknya pori baru dalam struktur material. Proses ini berkontribusi terhadap peningkatan luas permukaan spesifik. Transformasi tersebut merupakan karakteristik umum aktivasi asam pada mineral lempung (Surjandari et al., 2021).

Distribusi ukuran kristal yang lebih homogen berkorelasi dengan kestabilan struktur material. Hal ini penting dalam menentukan performa material sebagai adsorben atau katalis. Struktur yang terlalu rusak dapat menurunkan sifat mekanik material. Oleh karena itu, pemilihan jenis asam harus mempertimbangkan keseimbangan antara aktivasi dan stabilitas struktur (Tirtaadmaja, 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivasi asam memberikan dampak signifikan terhadap parameter kristalinitas montmorillonite. Variasi jenis asam menghasilkan karakteristik struktur yang berbeda secara nyata. Temuan ini mendukung konsep bahwa modifikasi kimia dapat mengontrol sifat material berbasis lempung. Kajian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya mengenai transformasi struktur montmorillonite akibat aktivasi asam (Gulo, 2016).

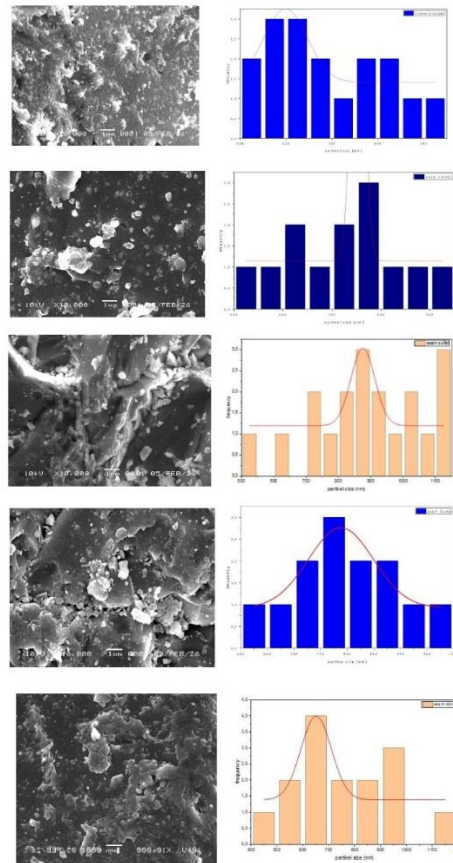
### **Karakterisasi Morfologi Permukaan Menggunakan SEM**

Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa proses aktivasi asam memberikan perubahan yang signifikan terhadap morfologi permukaan montmorillonite. Sebelum aktivasi, montmorillonite alami memiliki struktur yang padat, permukaan relative halus, dan masih mengalami aglomerasi partikel. Setelah proses aktivasi asam, permukaan material menjadi lebih kasar, terbentuk rongga-rongga baru dan struktur partikel menjadi lebih terbuka.

Aktivasi menggunakan  $\text{HCl}$  menunjukkan hasil morfologi terbaik dibandingkan jenis asam lainnya. Pada SEM, permukaan montmorillonite yang diaktivasi menggunakan asam klorida terlihat memiliki distribusi pori yang lebih jelas dan lebih merata. Selain itu, aglomerasi partikel berkurang sehingga struktur material menjadi lebih terbuka. Kondisi ini menunjukkan bahwa  $\text{HCl}$  mampu melarutkan ion-ion pengotor seperti  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , dan  $\text{Ca}^{2+}$  secara efektif tanpa menyebabkan kerusakan struktur yang berlebihan.

Permukaan yang lebih terbuka menyebabkan luas antara dsorben dan zat teradsorpsi meningkat sehingga kemampuan adsorpsi montmorillonite menjadi lebih baik. Ukuran partikel yang lebih kecil dan distribusi pori yang lebih merata juga menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan  $\text{HCl}$  mampu meningkatkan luas permukaan spesifik material. Pada sampel  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , permukaan montmorillonite juga mengalami perubahan morfologi dengan terbentuknya pori-pori baru. Akan tetapi, beberapa bagian masih menunjukkan adanya aglomerasi partikel sehingga distribusi pori tidak sebaik  $\text{HCl}$ . Meskipun demikian, asam sulfat menghasilkan struktur kristal yang lebih homogen berdasarkan hasil karakterisasi XRD.

Pada sampel  $\text{H}_3\text{PO}_4$  menunjukkan struktur yang lebih relative lebih stabil dengan tingkat kerusakan lapisan yang lebih kecil, hal ini disebabkan karena asam fosfat cenderung mempertahankan struktur berlapis montmorillonite. Namun, pembentukan pori yang dihasilkan tidak sebanyak  $\text{HCl}$ . Sementara itu, aktivasi menggunakan  $\text{HNO}_3$  menyebabkan permukaan material mengalami pengikisan akibat proses pelarutan ion logam. Struktur permukaan terlihat lebih kasar dibandingkan montmorillonite alami, tetapi distribusi pori masih belum homogen. Berdasarkan hasil SEM, dapat disimpulkan bahwa  $\text{HCl}$  merupakan jenis asam yang paling baik dalam meningkatkan morfologi permukaan dan porositas montmorillonite. Hal ini menunjukkan bahwa  $\text{HCl}$  lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan adsorpsi material sebagai bleaching earth.



Hasil pengamatan menggunakan SEM menunjukkan bahwa aktivasi asam memberikan perubahan signifikan terhadap morfologi permukaan montmorillonite. Sampel sebelum aktivasi memperlihatkan struktur yang relatif padat dengan permukaan halus dan aglomerasi partikel yang masih dominan. Setelah perlakuan asam, terbentuk struktur yang lebih terbuka dengan indikasi peningkatan porositas. Perubahan ini menunjukkan bahwa aktivasi asam mampu memodifikasi struktur permukaan melalui pelarutan komponen mineral tertentu (Mele et al., 2023). Pada sampel yang diaktivasi menggunakan HCl, morfologi permukaan menunjukkan distribusi pori yang lebih merata dan jelas. Aglomerasi partikel berkurang secara signifikan sehingga struktur tampak lebih terdispersi. Pori-pori yang terbentuk memiliki ukuran yang relatif seragam dibandingkan perlakuan lainnya. Fenomena ini menunjukkan efektivitas HCl dalam melarutkan kation pengotor tanpa merusak kerangka utama montmorillonite (Sharma & Sarasan, 2017).

Struktur permukaan yang lebih terbuka pada perlakuan HCl berkorelasi dengan peningkatan luas permukaan spesifik. Hal ini berimplikasi langsung terhadap peningkatan kemampuan adsorpsi material. Semakin luas permukaan kontak, semakin besar interaksi antara adsorben dan molekul target. Hubungan ini merupakan prinsip dasar dalam sistem adsorpsi berbasis material berpori (Tirtaadmaja, 2019). Pada sampel H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, morfologi permukaan juga mengalami perubahan dengan terbentuknya pori-pori baru. Namun, distribusi pori tidak sehomogen pada sampel HCl karena masih ditemukan aglomerasi lokal. Struktur partikel terlihat lebih kompak pada beberapa area tertentu. Kondisi ini menunjukkan bahwa aktivasi dengan asam sulfat cenderung menghasilkan restrukturisasi yang lebih terarah tetapi kurang merata (Krupskaya et al., 2017).

Aktivasi menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> menghasilkan morfologi yang relatif lebih stabil dengan tingkat kerusakan lapisan yang lebih kecil. Struktur berlapis montmorillonite masih dapat diamati dengan jelas pada citra SEM. Pembentukan pori terjadi, tetapi jumlah dan distribusinya lebih terbatas. Hal ini mengindikasikan bahwa asam fosfat memiliki karakter aktivasi yang lebih lembut (Shen Tong et al., 2013). Pada perlakuan HNO<sub>3</sub>, permukaan material menunjukkan tekstur yang lebih kasar akibat proses pelarutan kation logam. Distribusi pori terlihat tidak merata dengan beberapa bagian mengalami erosi berlebih. Struktur partikel tampak lebih terfragmentasi dibandingkan perlakuan lainnya. Kondisi ini

menunjukkan adanya efek oksidatif yang memengaruhi integritas struktur permukaan (Shwan et al., 2024).

Data pada tabel tersebut memperlihatkan bahwa HCl menghasilkan morfologi paling ideal untuk aplikasi adsorpsi. Distribusi pori yang homogen mendukung peningkatan luas permukaan efektif. Sebaliknya, HNO<sub>3</sub> menunjukkan distribusi pori yang tidak merata akibat degradasi struktur. Interpretasi ini konsisten dengan hubungan antara struktur pori dan efisiensi adsorpsi material (Horri et al., 2020). Perubahan morfologi yang diamati juga berkaitan erat dengan hasil karakterisasi XRD. Struktur kristal yang lebih homogen pada H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tidak selalu diikuti oleh morfologi permukaan terbaik. Hal ini menunjukkan bahwa struktur kristal dan morfologi permukaan merupakan parameter yang saling melengkapi tetapi tidak identik. Keduanya berkontribusi secara berbeda terhadap performa material (Surjandari et al., 2021).

Interaksi antara asam dan montmorillonite menyebabkan terjadinya pelarutan selektif pada lapisan oktahedral. Proses ini menghasilkan rongga baru yang meningkatkan porositas material. Namun, intensitas reaksi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan struktur yang berlebihan. Oleh karena itu, optimasi jenis asam menjadi faktor penting dalam sintesis material (Krupskaya et al., 2017). Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa variasi jenis asam memberikan pengaruh yang berbeda terhadap morfologi montmorillonite. Perubahan struktur permukaan ini berperan penting dalam menentukan kinerja material sebagai bleaching earth. Morfologi yang lebih terbuka dan homogen cenderung meningkatkan efisiensi adsorpsi. Temuan ini sejalan dengan konsep bahwa sifat permukaan menentukan performa material dalam aplikasi industri (Surrahman, 2019).

### Performa Bleaching Earth terhadap Minyak Sawit

Pengujian bleaching dilakukan menggunakan minyak sawit mentah (CPO). Hasil pengujian menunjukkan bahwa acid-activated montmorillonite mampu menurunkan intensitas warna minyak dan kandungan  $\beta$ -karoten setelah proses adsorpsi. Penurunan absorbansi menunjukkan bahwa proses bleaching berlangsung efektif. Aktivasi asam menyebabkan terbentuknya situs aktif dan peningkatan porositas sehingga kemampuan adsorpsi pigmen warna meningkat. Berdasarkan hasil karakterisasi SEM, sampel yang diaktivasi menggunakan HCl menunjukkan performa morfologi terbaik karena memiliki pori-pori lebih terbuka dan distribusi partikel yang lebih merata. Kondisi ini menyebabkan kontak antara adsorben dan pigmen  $\beta$ -karoten menjadi lebih optimal sehingga meningkatkan efektivitas proses bleaching.

Asam sulfat memberikan hasil terbaik pada karakterisasi XRD karena menghasilkan struktur kristal yang lebih homogen dan kristalinitas yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa setiap jenis asam memberikan pengaruh yang berbeda terhadap karakteristik montmorillonite. HCl menunjukkan potensi terbaik sebagai bleaching earth berdasarkan hasil morfologi permukaan dan kemampuan adsorpsi yang lebih baik. Aktivasi menggunakan HCl menghasilkan struktur yang lebih berpori sehingga lebih efektif dalam menyerap pigmen warna pada minyak sawit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis asam sangat memengaruhi struktur, morfologi, dan performa bleaching earth dari montmorillonite.

Tabel 1. Hasil uji kadar air

Variasi Perlakuan BE CPO	Berat Awal ( $m_1$ ) (g)	Berat Akhir ( $m_2$ ) (g)	Kadar Air (%)
HCl	2	2	0
Asam Sulfat (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	2	2	0
Asam Fosfat (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	2	2	0
Asam Nitrat (HNO <sub>3</sub> )	2	2	0

**Tabel 2. Nilai absorbansi beta karoten**

Variasi perlakuan BE CPO	Berat sampel (gr)	Absorbansi (A)
CPO	1	1,86
Asam klorida	1	1,49
Asam sulfat	1	1,45
Asam fosfat	1	1,47
Asam nitrat	1	1,34

Pengujian performa bleaching earth dilakukan menggunakan minyak sawit mentah untuk mengevaluasi efektivitas adsorpsi pigmen. Hasil menunjukkan bahwa seluruh sampel acid-activated montmorillonite mampu menurunkan intensitas warna minyak secara signifikan. Penurunan ini dikaitkan dengan kemampuan material dalam menyerap senyawa  $\beta$ -karoten. Mekanisme adsorpsi tersebut mengikuti prinsip interaksi antara permukaan padat dan molekul terlarut (Surrahman, 2019). Nilai absorbansi yang diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan variasi antar perlakuan asam. Sampel tanpa perlakuan memiliki nilai absorbansi sebesar 1,86, yang menunjukkan kandungan pigmen tinggi. Setelah aktivasi, nilai absorbansi menurun pada seluruh sampel dengan tingkat yang berbeda. Penurunan absorbansi ini sesuai dengan hukum Lambert-Beer yang mengaitkan absorbansi dengan konsentrasi zat terlarut (Sari, 2010).

Sampel yang diaktivasi menggunakan  $\text{HNO}_3$  menunjukkan nilai absorbansi terendah sebesar 1,34. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi terhadap  $\beta$ -karoten relatif lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Meskipun demikian, performa ini perlu dianalisis bersama dengan parameter struktur dan morfologi. Hal ini penting karena efektivitas adsorpsi tidak hanya ditentukan oleh satu karakteristik material (Horri et al., 2020). Pada perlakuan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , nilai absorbansi sebesar 1,45 menunjukkan efektivitas yang cukup baik dalam proses bleaching. Struktur kristal yang homogen berkontribusi terhadap stabilitas material selama proses adsorpsi. Namun, distribusi pori yang kurang merata dapat membatasi akses molekul ke situs aktif. Kondisi ini menunjukkan adanya hubungan kompleks antara struktur dan morfologi terhadap performa adsorpsi (Krupskaya et al., 2017).

Sampel HCl menunjukkan nilai absorbansi sebesar 1,49 yang sedikit lebih tinggi dibandingkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HNO}_3$ . Meskipun demikian, hasil SEM menunjukkan bahwa HCl memiliki morfologi permukaan terbaik. Distribusi pori yang homogen meningkatkan interaksi antara adsorben dan pigmen. Hal ini mengindikasikan bahwa parameter morfologi memiliki peran dominan dalam menentukan performa bleaching (Sharma & Sarasan, 2017). Pada perlakuan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , nilai absorbansi sebesar 1,47 menunjukkan performa yang berada di antara HCl dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Struktur yang relatif stabil menyebabkan pembentukan pori yang lebih terbatas. Akibatnya, jumlah situs aktif yang tersedia untuk adsorpsi juga lebih sedikit. Fenomena ini menunjukkan bahwa stabilitas struktur tidak selalu berbanding lurus dengan kapasitas adsorpsi (Mele et al., 2023).

**Tabel 3. Nilai kadar FFA**

Variasi Perlakuan BE CPO	Berat Sampel (g)	Normalitas NaOH (N)	Volume NaOH (mL)	Kadar FFA (%)
Asam Klorida (HCl)	1	0,1	6,7	8,5
Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	1	0,1	4,7	6,01
Asam Fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )	1	0,1	1,4	1,7
Asam Nitrat ( $\text{HNO}_3$ )	1	0,1	6,7	8,5
CPO (Kontrol)	1	0,1	13,3	17,02

Data pada tabel menunjukkan bahwa seluruh perlakuan mampu menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA) secara signifikan. Penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan  $H_3PO_4$  dengan nilai 1,7%. Hal ini menunjukkan bahwa selain menyerap pigmen, material juga mampu mengadsorpsi komponen asam lemak bebas. Kemampuan ini berkaitan dengan sifat kimia permukaan material yang telah dimodifikasi (Shen Tong et al., 2013). Analisis kadar air menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki nilai 0%, yang menandakan tidak adanya perubahan massa akibat kandungan air. Kondisi ini penting untuk memastikan bahwa perubahan performa tidak dipengaruhi oleh faktor kelembaban. Stabilitas ini menunjukkan bahwa proses pengeringan setelah aktivasi berlangsung optimal. Keandalan data ini mendukung validitas hasil pengujian adsorpsi (Gulo, 2016).

Korelasi antara hasil XRD, SEM, dan uji bleaching menunjukkan adanya hubungan yang saling melengkapi. Struktur kristal yang baik tidak selalu menghasilkan performa adsorpsi terbaik tanpa didukung morfologi yang sesuai. Sebaliknya, morfologi yang optimal dapat meningkatkan efektivitas meskipun struktur kristal tidak paling homogen. Interaksi antar parameter ini menjadi faktor utama dalam menentukan kinerja bleaching earth (Surjandari et al., 2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis asam mineral berpengaruh signifikan terhadap performa bleaching earth.  $HNO_3$  memberikan hasil terbaik dari sisi penurunan absorbansi, sedangkan HCl unggul dalam morfologi permukaan.  $H_2SO_4$  menunjukkan keseimbangan antara struktur dan performa, sementara  $H_3PO_4$  unggul dalam penurunan FFA. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan jenis asam harus disesuaikan dengan tujuan aplikasi material (Tirtaadmaja, 2019).

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa jenis asam mineral memberikan pengaruh signifikan terhadap struktur kristal, morfologi permukaan, dan performa bleaching earth berbasis montmorillonite. Aktivasi menggunakan  $H_2SO_4$  menghasilkan struktur kristal paling homogen dengan ukuran kristal rata-rata 78,7 nm serta tingkat kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan variasi asam lainnya, sedangkan HCl memberikan morfologi permukaan paling optimal dengan distribusi pori yang lebih merata, permukaan lebih terbuka, dan aglomerasi partikel yang lebih rendah sehingga meningkatkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi. Dalam aplikasi bleaching, acid-activated montmorillonite terbukti efektif menurunkan intensitas warna dan kandungan  $\beta$ -karoten minyak sawit, di mana  $HNO_3$  menunjukkan efektivitas tertinggi dalam menurunkan absorbansi  $\beta$ -karoten, sementara  $H_3PO_4$  unggul dalam menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA). Perbedaan karakteristik ini menunjukkan bahwa setiap jenis asam memiliki mekanisme aktivasi yang berbeda terhadap montmorillonite dan menghasilkan sifat material yang spesifik. Secara keseluruhan, HCl menunjukkan performa terbaik sebagai bleaching earth karena menghasilkan karakteristik morfologi dan porositas yang paling mendukung proses adsorpsi, sehingga pemilihan jenis asam perlu disesuaikan dengan tujuan aplikasi untuk memperoleh kinerja material yang optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhika, R., et al. (2018). Scanning electron microscopy untuk analisis morfologi permukaan. *Jurnal Fisika Material*, 9(3), 145–152.
- Afandi, A., & Purwanto, B. (2018). Analisis spektrum UV-Vis dalam penelitian kimia. *Jurnal Fisika dan Kimia*, 7(1), 22–30.
- Alexsandra, R. D. N., et al. (2015). Pengaruh perlakuan asam pada reaksi esterifikasi asam oleat. *Jurnal Kimia dan Energi*, 11(2), 99–107.
- Ali, M., Surjandari, S., & Ayyubi, A. (2021). Pengaruh aktivasi asam terhadap karakteristik montmorillonite. *Jurnal Fisika Material*, 12(3), 45–56.
- Ayyubi, A., & Admaja, T. (2020). Karakterisasi montmorillonite yang diaktivasi asam untuk aplikasi adsorpsi. *Jurnal Kimia dan Material*, 15(2), 123–130.
- Balbaj, A., Selvi tepe, N., & Saka, C. (2020). Fe doped-CoB catalysts with phosphoric acid activated montmorillonite as support for efficient hydrogen production via  $NaBH_4$  hydrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Gulo, I. (2016). Analisis kualitas air menggunakan spektrofotometer UV-Vis. *Jurnal Lingkungan dan Teknologi*, 8(1), 78–85.

- Hakim, A., & Dirgantara, T. (2019). Teknik difraksi sinar-X untuk analisis struktur kristal. *Jurnal Fisika dan Aplikasi*, 10(4), 201–210.
- Horri, N., Sanz-Pérez, E. S., Arencibia, A., Sanz, R., Frini-Srasra, N., & Srasra, E. (2020). Effect of acid activation on the CO<sub>2</sub> adsorption capacity of montmorillonite. *Adsorption*, 26(5), 793–811. <https://doi.org/10.1007/s10450-020-00200-z>
- Krupskaya, V. V., Zakusin, S. V., Tyupina, E. A., Dorzhieva, O. V., Zhukhlistov, A. P., Belousov, P. E., & Timofeeva, M. N. (2017). Experimental study of montmorillonite structure and transformation of its properties under treatment with inorganic acid solutions. *Minerals*, 7(4), 49. <https://doi.org/10.3390/min7040049>
- Mele, A., Gjurgjaj, L., Lica, J., Mema, A., Mele, A., Çaçani, I., & Keri, J. (2023). Changes in surface and structure of montmorillonite by acid activation. *Dental Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.08.068>
- Sari, R. (2010). Hukum Lambert-Beer dalam spektroskopi. *Jurnal Fisika Dasar*, 5(2), 34–40.
- Sharma, S., & Sarasan, G. (2017). Pengaruh aktivasi asam pada tanah liat montmorillonit kalsium alami. *Jurnal Material dan Sains*, 12(4), 234–240.
- Shen Tong, D., Xia, X., Luo, X. P., Wu, L. M., Lin, C. X., Yu, W. H., Zhou, C. H., & Zhong, Z. K. (2013). Catalytic hydrolysis of cellulose to reducing sugar over acid-activated montmorillonite catalysts. *Applied Clay Science*, 74, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2012.10.021>
- Shwan, D., Abdalqadir, M., Rezaei Gomari, S., Pak, T., & Hughes, D. (2024). A comparative study of acid-activated non-expandable kaolinite and expandable montmorillonite for their CO<sub>2</sub> sequestration capacity. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 137, 375–398. <https://doi.org/10.1007/s11144-023-02345-8>
- Surjandari, S., Ayyubi, A., & Tirtaadmaja, S. (2021). Montmorillonite: Sifat dan aplikasi dalam industri. *Jurnal Material dan Biofisika*, 14(1), 67–75.
- Surrahman, A. (2019). Pemurnian minyak nabati menggunakan bleaching earth. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 11(3), 89–95.
- Tirtaadmaja, S. (2019). Penggunaan montmorillonite dalam proses katalisis dan adsorpsi. *Jurnal Kimia Terapan*, 13(2), 112–120.
- Victoria, Zeynizadeh, B., & Rahmani, S. (2019). Immobilized copper-layered nickel ferrite on acid-activated montmorillonite [(NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@Cu)(H<sup>+</sup>-Mont)] as a superior magnetic nanocatalyst for the green synthesis of xanthene derivatives. *RSC Advances*, 9(54), 31455–31466. <https://doi.org/10.1039/C9RA06789H>
- Volterrani, M., Afandi, A., & Purwanto, B. (2017). Spektrofotometri UV-Vis dalam analisis kimia. *Jurnal Analisis dan Metode*, 9(1), 45–52.
- Zeng, Y., Zhao, L., & Ma, J. (2023). Perubahan komposisi dan struktur montmorillonite dalam larutan asam. *Jurnal Material dan Lingkungan*, 16(2), 201–210.
- Zeynizadeh, B., & Rahmani, S. (2019). Immobilized copper-layered nickel ferrite on acid-activated montmorillonite [(NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@Cu)(H<sup>+</sup>-Mont)] as a superior magnetic nanocatalyst for the green synthesis of xanthene derivatives. *RSC Advances*, 9(54), 31455–31466. <https://doi.org/10.1039/C9RA06789H>