



Adsorption Mechanism of Chitosan Biopolymer on Sandstone Media: Salinity and Concentration Effects

Herlina Imeli Awan^{1✉}, Muhammad Rizqie Fathan Rahman¹, Baiq Maulinda Ulfah¹, Muhammad Syaiful Nur Ma'arif¹

⁽¹⁾Teknik Perminyakan, STT Migas Balikpapan, Kalimantan Timur

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.54260

✉ Corresponding author:
[herlinaximel@gmail.com]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Kitosan Udang;
Adsorpsi Polimer;
Isoterm Adsorpsi;
Salinitas;
Green Enhanced Oil
Recovery

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mekanisme adsorpsi kitosan udang pada media pasir silika 40 mesh dengan variasi salinitas dan konsentrasi sebagai dasar evaluasi potensi kitosan sebagai polimer ramah lingkungan dalam aplikasi Green Enhanced Oil Recovery. Kitosan digunakan dalam tiga variasi konsentrasi, yaitu 5000, 10000, dan 15000 mg/L, dengan dua kondisi salinitas NaCl sebesar 10000 dan 20000 mg/L. Uji adsorpsi dilakukan menggunakan metode batch, sedangkan perilaku adsorpsi dianalisis menggunakan model isoterm Henry, Freundlich, Langmuir, dan Harkins–Jura. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Freundlich dan Langmuir lebih representatif dalam menggambarkan adsorpsi kitosan dibandingkan model Henry dan Harkins–Jura. Adsorpsi kitosan menunjukkan kestabilan yang lebih baik pada salinitas tinggi dan cenderung mengikuti mekanisme adsorpsi monolayer pada permukaan yang bersifat heterogen. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan multi-model isoterm penting untuk memahami karakter adsorpsi biopolimer, serta mengindikasikan bahwa kitosan udang memiliki potensi sebagai polimer ramah lingkungan untuk aplikasi injeksi kimia pada reservoir sandstone.

Abstract

Keywords:

Shrimp Chitosan;
Polymer Adsorption;
Adsorption Isotherm;
Salinity;
Green Enhanced Oil
Recovery

This study aims to analyze the adsorption mechanism of shrimp chitosan on 40-mesh silica sand under varying salinity and concentration conditions as a basis for evaluating its potential as an environmentally friendly polymer for Green Enhanced Oil Recovery (EOR) applications. Chitosan was prepared at concentrations of 5000, 10000, and 15000 mg/L, with NaCl salinities of 10000 and 20000 mg/L. Batch adsorption experiments were conducted, and adsorption behavior was evaluated using Henry, Freundlich, Langmuir, and Harkins–Jura isotherm models. The results show that the Freundlich and Langmuir models provide a better representation of chitosan adsorption behavior than the Henry and Harkins–Jura models. Chitosan adsorption exhibits greater stability at higher salinity and tends to follow a monolayer adsorption mechanism on heterogeneous surfaces. These findings

highlight the importance of a multi-isotherm approach in understanding biopolymer adsorption behavior and indicate that shrimp chitosan has potential as an environmentally friendly polymer for chemical injection in sandstone reservoirs.

1. PENDAHULUAN

Enhanced Oil Recovery (EOR) merupakan metode lanjutan yang diterapkan untuk meningkatkan perolehan minyak setelah tahap produksi primer dan sekunder tidak lagi ekonomis. Salah satu metode EOR yang banyak diterapkan adalah injeksi polimer, yang bertujuan untuk meningkatkan viskositas fluida injeksi sehingga rasio mobilitas antara air dan minyak menjadi lebih baik dan efisiensi penyapuan meningkat. Metode ini telah banyak dikaji dan diaplikasikan pada berbagai kondisi reservoir karena kemampuannya dalam meningkatkan *sweep efficiency* dan menunda terjadinya *water breakthrough* (Ali & Mahmud, 2015; Chen et al., 2017; Pang et al., 2019).

Namun demikian, penggunaan polimer sintetis dalam aplikasi EOR masih menghadapi sejumlah permasalahan, khususnya terkait aspek lingkungan, biaya, dan keberlanjutan bahan baku. Oleh karena itu, perhatian terhadap pengembangan polimer alternatif yang bersifat ramah lingkungan atau green EOR semakin meningkat. Biopolimer yang berasal dari bahan alam menjadi salah satu solusi potensial karena bersifat biodegradable, berasal dari sumber terbarukan, serta memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan polimer sintetis (Fathaddin, Maulida, et al., 2024; Lestari et al., 2020).

Salah satu jenis biopolimer yang banyak dikaji adalah kitosan, yang diperoleh dari proses deasetilasi kitin pada limbah cangkang udang. Kitosan memiliki gugus amina aktif yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan permukaan mineral batuan, serta menunjukkan karakteristik kelarutan dan stabilitas yang baik pada kondisi tertentu. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kitosan udang memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai agen injeksi polimer dalam metode EOR, terutama dalam konteks green EOR, karena sifatnya yang ramah lingkungan dan ketersediaannya yang melimpah (Setiati et al., 2021; Ulfah et al., 2024).

Dalam penerapannya, salah satu tantangan utama pada injeksi polimer maupun biopolimer adalah terjadinya adsorpsi polimer pada permukaan media berpori. Adsorpsi ini menyebabkan sebagian polimer tertahan pada permukaan padatan, sehingga dapat mengurangi efektivitas injeksi dan meningkatkan kebutuhan polimer selama operasi. Besarnya adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi polimer, salinitas larutan, serta kondisi fisik dan kimia media berpori yang digunakan (Ali & Mahmud, 2015; Ragadhita et al., 2021).

Selain faktor larutan, karakteristik media berpori seperti struktur pori, luas permukaan spesifik, dan sifat mineralogi juga berperan penting dalam menentukan mekanisme adsorpsi polimer. Interaksi antara molekul polimer dan permukaan pasir atau batuan reservoir dapat terjadi dalam berbagai mekanisme, baik dalam bentuk adsorpsi monolayer maupun multilayer. Fenomena adsorpsi ini tidak hanya berdampak pada kehilangan polimer, tetapi juga mempengaruhi distribusi aliran fluida selama proses injeksi pada aplikasi EOR (Chen et al., 2017; Pang et al., 2019; Zhu et al., 2021).

Untuk memahami karakter dan mekanisme adsorpsi kitosan udang pada media pasir, pendekatan pemodelan menggunakan isoterm adsorpsi banyak digunakan. Pemodelan isoterm adsorpsi bertujuan untuk menggambarkan hubungan antara konsentrasi polimer dalam larutan dan jumlah polimer yang teradsorpsi pada kondisi kesetimbangan. Beberapa model isoterm yang umum digunakan dalam kajian adsorpsi antara lain isoterm Henry, Freundlich, Langmuir, dan Harkins–Jura, yang masing-masing memiliki asumsi dan pendekatan berbeda dalam menjelaskan mekanisme adsorpsi pada permukaan padatan (Ayawei et al., 2017). Isoterm Henry menggambarkan hubungan linear antara konsentrasi dan jumlah adsorbat pada konsentrasi rendah, isoterm Freundlich digunakan untuk menggambarkan adsorpsi pada permukaan heterogen, isoterm Langmuir mengasumsikan adsorpsi monolayer pada permukaan homogen, sedangkan isoterm Harkins–Jura digunakan untuk menjelaskan adsorpsi multilayer pada permukaan berpori. Penggunaan beberapa model isoterm secara simultan diperlukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terhadap perilaku adsorpsi biopolimer pada media pasir (Ragadhita et al., 2021; Zhu et al., 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, masih terdapat keterbatasan penelitian yang secara komprehensif mengevaluasi mekanisme adsorpsi kitosan udang pada media pasir dengan mempertimbangkan variasi salinitas dan konsentrasi serta membandingkannya menggunakan beberapa model isoterm. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis adsorpsi kitosan udang pada pasir silika 40 mesh dengan variasi salinitas dan konsentrasi menggunakan model isoterm Henry, Freundlich, Langmuir, dan Harkins–Jura sebagai dasar evaluasi potensi kitosan udang sebagai polimer ramah lingkungan dalam aplikasi Green Enhanced Oil Recovery.

2. METODE

Studi ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan dan Laboratorium Institut Teknologi Kalimantan. Bahan pokok penelitian adalah kitosan yang diperoleh dari proses ekstraksi limbah cangkang udang dan digunakan dalam tiga variasi konsentrasi yaitu 5000, 10000, dan 15000 mg/L. Larutan kitosan kemudian dicampurkan dengan NaCl pada dua tingkat salinitas sebagai representasi kondisi reservoir, yaitu 10000 dan 20000 mg/L. Media berpori menggunakan pasir silika 40 mesh.

Pengujian kompatibilitas dilakukan dengan mengamati stabilitas larutan selama 24 jam, meliputi pengamatan terhadap terbentuknya endapan dan perubahan karakteristik warna untuk mengevaluasi ketahanan fisik kitosan dalam medium yang mengandung garam. Uji adsorpsi menggunakan metode batch system dengan mencampurkan 60 gram pasir silika dalam 100 mL larutan kitosan (rasio solid/liquid = 1:1,67 g/mL) dalam gelas beaker. Proses pencampuran menggunakan magnetic stirrer yang berlangsung selama 24 jam, pada suhu ruang dengan pengadukan konstan hingga mencapai kondisi kesetimbangan adsorpsi. pH larutan tidak dikontrol selama eksperimen dan diukur pada kondisi alami. Setelah periode kontak, larutan dipisahkan dari pasir dan konsentrasi akhir dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis berdasarkan kurva standar hubungan antara konsentrasi dan absorbansi. Kapasitas adsorpsi dihitung berdasarkan perubahan konsentrasi awal dan akhir.



Gambar 1. Sampel larutan kitosan udang dengan NaCl 10.000 ppm



Gambar 2. Sampel larutan kitosan udang dengan NaCl 20.000 ppm

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis isoterm adsorpsi dilakukan untuk mengevaluasi karakter interaksi kitosan udang dengan media pasir silika 40 mesh pada variasi salinitas. Empat model isoterm, yaitu Henry, Freundlich, Langmuir, dan Harkins–Jura, diterapkan secara bersamaan untuk memperoleh gambaran mekanisme adsorpsi yang lebih komprehensif, mengingat setiap model merepresentasikan asumsi fisik yang berbeda terhadap sifat permukaan dan pola adsorpsi polimer pada media berpori. Beberapa parameter isoterm menunjukkan nilai negatif, yang mengindikasikan keterbatasan asumsi model terhadap sistem adsorpsi yang diamati. Pemodelan isoterm adsorpsi pada penelitian ini tidak hanya digunakan sebagai pendekatan matematis, tetapi juga sebagai dasar interpretasi mekanisme adsorpsi kitosan pada permukaan pasir silika. Setiap model isoterm merepresentasikan asumsi fisik yang berbeda terkait sifat permukaan dan pola interaksi antara molekul kitosan dan media berpori. Oleh karena itu, perbandingan beberapa model isoterm memungkinkan identifikasi mekanisme adsorpsi yang dominan berdasarkan kesesuaian parameter dan respon terhadap perubahan salinitas.

Table 1. merupakan ringkasan konstanta dari masing-masing model isotherm

Model	Konstanta	10000	20000
		40 mesh	40 mesh
Henry	Kh	0,001	0,0018

Model	Konstanta	10000	20000
		40 mesh	40 mesh
Langmuir	M	-3,01659	15,45595
	K	-0,00008512	0,001065757
Freundlich	K	4,41469E-08	1,738201018
	1/n	2,1023	0,2317
Harkins-Jura	A	-1,0923	-114,943
	B	-3,9775	-4,45977

Tabel 1 menyajikan parameter isoterm adsorpsi kitosan pada pasir silika 40 mesh untuk dua kondisi salinitas, yaitu 10.000 mg/L dan 20.000 mg/L. Parameter yang ditampilkan pada tabel meliputi konstanta isoterm dan parameter terkait yang mencerminkan tingkat kecenderungan dan kapasitas adsorpsi kitosan pada media pasir.

Secara umum, pembacaan Tabel 1 difokuskan pada perubahan nilai konstanta isoterm dan konsistensinya terhadap peningkatan salinitas. Perbandingan antar model dilakukan dengan memperhatikan kestabilan nilai parameter, tanda konstanta yang dihasilkan, serta kesesuaian nilai tersebut dengan asumsi fisik masing-masing model. Model yang menunjukkan nilai konstanta positif dan relatif stabil pada kedua kondisi salinitas dianggap lebih representatif dalam menggambarkan perilaku adsorpsi kitosan, sedangkan model dengan nilai konstanta yang sangat kecil atau bernilai negatif menunjukkan keterbatasan dalam merepresentasikan sistem adsorpsi yang diamati. Berdasarkan pembacaan awal ini, terlihat bahwa model Freundlich dan Langmuir memberikan respons yang lebih konsisten dibandingkan model Henry dan Harkins–Jura.

Berdasarkan hasil tersebut, model Henry memperlihatkan nilai konstanta yang relatif kecil pada kedua kondisi salinitas. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan linier antara konsentrasi larutan dan jumlah kitosan yang teradsorpsi tidak dominan pada sistem ini. Ketidakesesuaian model Henry mengindikasikan bahwa adsorpsi kitosan pada pasir silika tidak berlangsung sebagai adsorpsi lemah, melainkan dipengaruhi oleh interaksi yang lebih kuat antara polimer dan permukaan media berpori. Model Harkins–Jura menunjukkan nilai konstanta negatif pada kedua kondisi salinitas, yang mengindikasikan bahwa asumsi adsorpsi multilayer pada permukaan yang sangat heterogen tidak sesuai untuk sistem kitosan–pasir silika. Ukuran molekul kitosan yang relatif besar serta keterbatasan ruang pori pasir 40 mesh menyebabkan pembentukan lapisan adsorpsi bertingkat menjadi tidak signifikan. Hasil ini konsisten dengan temuan (Fathaddin, Mardiana, et al., 2024) yang melaporkan bahwa mekanisme multilayer tidak dominan pada adsorpsi kitosan di media pasir silika.

Sebaliknya, model Freundlich menunjukkan kecocokan yang lebih baik dalam menggambarkan adsorpsi kitosan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai parameter yang relatif stabil serta penurunan nilai $1/n$ pada salinitas yang lebih tinggi. Penurunan nilai $1/n$ mengindikasikan bahwa adsorpsi berlangsung lebih mudah dan semakin menguntungkan, yang mencerminkan sifat permukaan adsorben yang heterogen sebagaimana dijelaskan dalam interpretasi isoterm Freundlich (Ayawei et al., 2017). Model Langmuir menunjukkan kestabilan parameter paling baik, khususnya pada salinitas 20.000 mg/L. Kecocokan model ini mengindikasikan bahwa adsorpsi kitosan berlangsung dalam bentuk monolayer dengan jumlah situs adsorpsi yang terbatas. Stabilitas parameter Langmuir menunjukkan bahwa interaksi antara kitosan dan permukaan pasir menjadi lebih teratur dan dapat diprediksi pada kondisi salinitas yang lebih tinggi. Temuan ini memperkuat hasil penelitian (Fathaddin, Mardiana, et al., 2024) yang menyimpulkan bahwa adsorpsi kitosan pada pasir silika cenderung mengikuti asumsi monolayer ketika interaksi permukaan mendominasi.

Kecocokan model Freundlich dan Langmuir memberikan implikasi penting terhadap aplikasi kitosan sebagai polimer injeksi dalam Enhanced Oil Recovery. Adsorpsi yang stabil dan dapat diprediksi memungkinkan estimasi kehilangan polimer ke batuan dilakukan secara lebih akurat, yang merupakan aspek penting dalam perancangan injeksi kimia. Dengan mempertimbangkan sifat biodegradable serta sumber bahan baku dari limbah biomassa, kitosan udang memiliki potensi yang kuat untuk dikembangkan sebagai polimer ramah lingkungan dalam aplikasi Green Enhanced Oil Recovery, khususnya pada reservoir sandstone dengan tingkat salinitas menengah hingga tinggi.

Table 2. AARE dan R^2 kitosan udang dengan NaCl dan pasir 40 mesh

Salinitas	Parameter Statistik	Model Isoterm Adsorpsi 40 mesh			
		Langmuir	Freundlich	Henry	Harkins-Jura
10000	AARE (%)	-46,602	-2,749	-50,598	89,628
	R^2	0,346	0,854	0,657	-0,363
20000	AARE (%)	0,014	-0,006	28,805	67,345
	R^2	0,999	0,976	0,451	-0,071

4. KESIMPULAN

Adsorpsi kitosan udang pada pasir silika 40 mesh dipengaruhi oleh variasi salinitas dan dapat direpresentasikan secara lebih akurat menggunakan model isoterm Freundlich dan Langmuir dibandingkan model Henry dan Harkins–Jura. Ketidaksesuaian model Henry dan Harkins–Jura menunjukkan bahwa adsorpsi kitosan tidak berlangsung secara linier maupun multilayer, melainkan dikendalikan oleh keterbatasan situs adsorpsi dan heterogenitas permukaan pasir. Kestabilan parameter Langmuir pada salinitas yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa mekanisme adsorpsi monolayer menjadi dominan pada kondisi tersebut. Penggunaan beberapa model isoterm secara bersamaan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap karakter adsorpsi kitosan pada media pasir. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kitosan udang memiliki karakter adsorpsi yang stabil dan dapat diprediksi, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai polimer ramah lingkungan dalam aplikasi Green Enhanced Oil Recovery pada reservoir sandstone.

5. REFERENSI

- Ali, M., & Mahmud, B. H. (2015). *The effects of Concentration and Salinity on Polymer Adsorption Isotherm at Sandstone Rock Surface*. 78. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/78/1/012038>
- Ayawei, N., Ebelegi, A. N., & Wankasi, D. (2017). *Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms*. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3039817>
- Chen, Q., Tian, Y., Li, P., Yan, C., Pang, Y., Zheng, L., Deng, H., Zhou, W., & Meng, X. (2017). *Study on Shale Adsorption Equation Based on Monolayer Adsorption , Multilayer Adsorption , and Capillary Condensation*. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1496463>
- Fathaddin, M. T., Mardiana, D. A., Sutiadi, A., Maulida, F., & Ulfah, B. M. (2024). *Modeling of Shrimp Chitosan Polymer Adsorption Using Artificial Neural Network (Pemodelan Adsorpsi Polimer Kitosan Udang Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan)*. 7(2).
- Fathaddin, M. T., Maulida, F., Paul, V., Hattu, B., Ulfah, M., Adiinto, M. O., & Afdi, R. (2024). *The Use of Natural Polymers to Enhance Oil Recovery*. 03025, 1–8.
- Lestari, F. A., Afdhol, M. K., Hidayat, F., & Erfando, T. (2020). *Biopolimer dari Bahan Organik sebagai Biopolimer pada Metode EOR*. 54(3), 149–157.
- Pang, S., Pu, W., Xie, J., Chu, Y., Wang, C., & Shen, C. (2019). *Investigation into the properties of water-in-heavy oil emulsion and its role in enhanced oil recovery during water flooding*. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 177(January), 798–807. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.03.004>
- Ragadhita, R., Bayu, A., & Nandiyanto, D. (2021). *Indonesian Journal of Science & Technology How to Calculate Adsorption Isotherms of Particles Using Two-Parameter Monolayer Adsorption Models and Equations*. 6(1), 205–234.
- Setiati, R., Siregar, S., Wahyuningrum, D., & Rinanti, A. (2021). *Synthesis method of chitin become chitosan polymer from shrimp shells for enhanced oil recovery*. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/737/1/012048>
- Ulfah, B. M., Fathaddin, M. T., Setiati, R., & Rini, D. (2024). *Chitosan as a Biopolymer in the EOR Method: A Literature Study*. 03020, 1–8.
- Zhu, S., Ye, Z., Liu, Z., Chen, Z., Li, J., & Xiang, Z. (2021). *Adsorption Characteristics of Polymer Solutions on Media Surfaces and Their Main Influencing Factors*.