JOURNAL SYNTAX IDEA
p–ISSN: 2723-4339 e-ISSN: 2548-1398
Vol. 6, No. 9 September, 2025

Analisis Efek Viskositas dari Penambahan Aditif Mesona Palustris (Cincau Hitam) terhadap Polimer Poliakrilamida

Mohamad Obby Adianto [1], Muhammad Taufiq Fathaddin [2], Rozi Afdi [3]
Universitas Sriwijaya, Indonesia[1],
Universitas Trisakti, Indonesia[2],
Institut Teknologi Sumatera, Indonesia[3]
Email: obby_adianto@ft.unsri.ac.id[1], muh.taufiq@trisakti.ac.id[2], rozi.afdi@rmg.itera.ac.id[3]

Abstrak
Enhanced Oil Recovery (EOR) melalui injeksi polimer telah menjadi teknologi penting dalam industri perminyakan untuk meningkatkan perolehan minyak dari reservoir yang telah mengalami penurunan produksi. Tujuan utama injeksi polimer untuk menurunkan rasio mobilitas antara air-minyak. Polimer yang paling sering digunakan yaitu poliakrilamida dan polisakarida. Dengan menaikkan viskositas fluida injeksi, injeksi polimer dapat menaikkan efisiensi penyapuan sehingga meningkatkan perolehan minyak. Perolahan pada minyak bumi sangat tergantung pada efisiensi pendesakan mikroskopis dan makroskopis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek viskositas penambahan aditif cincau hitam terhadap polimer poliakrilamida apakah didapat viskositas yang baik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium dengan viskometer ostwald. Salinitas air formasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 20.000 ppm dengan variasi konsentrasi polimer 500 ppm, 1.000 ppm, dan 2.000 ppm pada polimer tanpa campuran cincau hitam dan dengan campuran cincau hitam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan viskositas polimer pada penambahan aditif cincau hitam terhadap polimer poliakrilamida yaitu pada kosentrasi polimer 500 ppm turun dari 1,25 cp ke 1,09 cp, pada kosentrasi polimer 1.000 ppm turun dari 1,32 cp ke 1,17 cp, dan pada kesentrasi polimer 2.000 ppm turun dari 1,68 cp ke 1,25 cp. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan alternatif polimer alami yang lebih ramah lingkungan untuk aplikasi EOR.
Kata kunci: Mesona Palustris, Poliakrilamida, Viskositas

Abstract
Enhanced Oil Recovery (EOR) through polymer injection has become an important technology in the petroleum industry to increase oil recovery from reservoirs that have experienced a decline in production. The main objective of polymer injection is to reduce the mobility ratio between water and oil. The most frequently used polymers are polyacrylamide and polysaccharides. By increasing the viscosity of the injection fluid, polymer injection can improve sweep efficiency, thereby enhancing oil recovery. Oil recovery highly depends on microscopic and macroscopic displacement efficiency. This study aims to determine the effect of viscosity from the addition of black grass jelly additive to polyacrylamide polymer to see whether a good viscosity is obtained. The method used in this study is a laboratory experiment using an Ostwald viscometer. The formation water salinity used in this study is 20,000 ppm with polymer concentration variations of 500 ppm, 1,000 ppm, and 2,000 ppm for polymers without black grass jelly mixture and with black grass jelly mixture. The results of the study show that there is a decrease in polymer viscosity with the addition of black grass jelly additive to polyacrylamide polymer, namely at a polymer concentration of 500 ppm it decreased from 1.25 cP to 1.09 cP, at a polymer concentration of 1,000 ppm it decreased from 1.32 cP to 1.17 cP, and at a polymer concentration of 2,000 ppm it decreased from 1.68 cP to 1.25 cP. This study contributes to the development of more environmentally friendly natural polymer alternatives for EOR applications.
Keywords: Mesona Palustris, *Polyacrylamide, Viscosity*

PENDAHULUAN

Injeksi polimer dimaksudkan untuk memperbaiki sifat fluida pendesak (Maifra et al., 2022). Polimer digunakan sebagai pengental yang dapat meningkatkan viskositas fluida injeksi (Wicaksono et al., 2019). Serta, meningkatkan efisiensi penyapuan (Fathaddin & Awang, 2020). Injeksi polimer terbukti efektif dalam meningkatkan perolehan minyak (Abidin et al., 2020). Meski polimer sintetik seperti poliakrilamida terbukti efektif dalam aplikasi Enhanced Oil Recovery (EOR), namun memiliki keterbatasan signifikan dalam hal biaya produksi yang

tinggi, dampak lingkungan yang kurang ramah, dan stabilitas yang menurun pada kondisi reservoir ekstrem dengan suhu dan salinitas tinggi (Witasta, 2021). Oleh karena itu, diperlukan eksplorasi alternatif polimer alami seperti cincau hitam (*Mesona palustris*) dan kitosan yang berpotensi memberikan performa yang baik dengan dampak lingkungan yang lebih minimal.

Tujuan utama injeksi polimer untuk menurunkan rasio mobilitas antara air-minyak (Manrique et al., 2019). Polimer yang paling sering digunakan yaitu poliakrilamida dan polisakarida (Novriansyah, 2021). Dengan menaikkan viskositas fluida injeksi, injeksi polimer dapat menaikkan efisiensi penyapuan sehingga meningkatkan perolehan minyak (Chen et al., 2022). Perolahan pada minyak bumi sangat tergantung pada efisiensi pendesakan mikroskopis dan makroskopis (Fathaddin et al., 2021). Efisiensi pendesakan mikroskopis mengukur sejauh mana fluida pendesak memobilisasi minyak sisa yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti keterbasahan batuan, permeabilitas relatif, IFT dan tekanan kapiler (Green & Willhite, 2019). Dengan demikian, dapat ditingkatkan dengan menginjeksikan surfaktan, CO_2, alkali, dan bahan lainnya (Syndansk & Zeron, 2020). Efisiensi sapuan volumetrik juga diartikan sebagai persentase volume pori yang disapu oleh fluida injeksi terhadap total volume minyak (Green & Willhite, 2019). *Viscous fingering* yaitu fenomena fluida pendesak yang memiliki viskositas rendah yang masuk ke dalam fluida yang memiliki viskositas tinggi (Kargozarfard et al., 2022) yang sangat mempengaruhi efisiensi penyapuan *reservoir* (Kargozarfard et al., 2022).

Cincau hitam atau janggelan mempunyai kandungan hidrokoloid yang dapat membentuk gel (Boonjing & Ruttarattanamongkol, 2021). Hidrokoloid merupakan komponen polimer yang berasal dari tumbuhan, hewan, mikroba ataupun komponen sintetik yang umumnya mengandung hidroksil (Herawati, 2020). Kandungan polisakarida cincau hitam dalam pembentukan gel dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi ekstraksi, konsentrasi, campuran pati, dan pemilihan bagian tanaman (Nusantoro et al., 2019). Pembentukan gel pada cincau hitam merupakan suatu fenomena yang unik, dimana komponen pembentuk gel cincau hitam tidak dapat berdiri sendiri, perlu adanya penambahan pati atau mineral tertentu salah satunya tapioka (Nuraini et al., 2020). Kitosan merupakan suatu polisakarida hasil deasetilasi kitin yang dapat membentuk hidrogel superabsorben melalui ikatan silang baik secara kovalen maupun nonkovalen. Adanya gugus amino pada kitosan menyebabkan molekul ini dapat dimodifikasi untuk menghasilkan sifat yang diinginkan (Sugita et al., 2021).

Adsorpsi polimer merupakan interaksi antara molekul polimer dan permukaan padat (Sazali et al., 2020). Adsorpsi bisa terjadi jika gaya adhesi lebih besar dibanding gaya kohesi antara antara dua molekul (Wijayanti & Kurniawati, 2022). Pada media berpori, adsorpsi polimer diawali oleh adsorpsi fisika (Ali & Mahmud, 2019).

Penelitian terkini menunjukkan trend peningkatan penggunaan polimer alami dalam aplikasi EOR. Zhang et al. (2022) melaporkan bahwa xanthan gum dapat meningkatkan oil recovery hingga 15-20% dibandingkan waterflooding konvensional. Wang et al. (2021) mengkaji stabilitas thermal polimer biopolimer dan menemukan bahwa modifikasi kimia dapat meningkatkan resistensi terhadap degradasi pada suhu tinggi. Liu et al. (2023) mengembangkan nanokomposit polimer alami yang menunjukkan peningkatan viskositas hingga 40% pada kondisi reservoir. Selaras dengan itu, Kumar et al. (2024) mendemonstrasikan bahwa kombinasi polimer sintetik-alami dapat mengurangi biaya operasional hingga 30% sambil mempertahankan efektivitas EOR. Ahmad et al. (2023) juga

membuktikan bahwa polimer berbasis selulosa menunjukkan stabilitas yang superior dalam lingkungan high-salinity dibandingkan polimer konvensional.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian masih fokus pada polimer sintetik, sementara studi komprehensif mengenai polimer alami khususnya cincau hitam (*Mesona palustris*) dan kitosan dalam konteks injeksi minyak masih sangat jarang. Padahal, Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah untuk pengembangan polimer alami tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian ini adalah: (1) Menganalisis efek penambahan aditif cincau hitam terhadap viskositas polimer poliakrilamida pada berbagai konsentrasi dan kondisi salinitas, (2) Mengevaluasi kompatibilitas campuran polimer alami (cincau hitam) dengan polimer sintetis (poliakrilamida) untuk aplikasi EOR, dan (3) Memberikan rekomendasi penggunaan kombinasi polimer dalam teknologi peningkatan perolehan minyak. Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi EOR yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis, menyediakan alternatif polimer dengan memanfaatkan sumber daya alam lokal, serta memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan polimer hybrid dalam aplikasi industri perminyakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental kuantitatif dengan pendekatan laboratorium untuk menganalisis efek viskositas penambahan aditif cincau hitam terhadap polimer poliakrilamida. Penelitian dimulai dengan studi literatur kemudian persiapan alat dan bahan setelah itu pembuatan larutan dengan salinitas 20.000 ppm dengan kosentrasi polimer 500 ppm, 1.000 ppm dan 2.000 ppm. Setelah larutan polimer dibuat dilakukan uji kompatibilitas larutan, jika tidak kompatibel maka larutan tidak digunakan, jika kompatibel maka dilanjutkan dengan uji viskositas larutan polimer berbagai konsentrasi pada salinitas 20.000 ppm dan kemudian data yang di dapat di analisa.

Alat yang digunakan yaitu Gelas Kimia 500 ml, Botol**,** Timbangan Digital, Pipet tetes, Thermometer, Balf pipet, Magnetic Stirer**,** Viskometer Ostwald dan Stopwatch. Adapun bahan yang digunakan yaitu *mesona palustris* (cincau hitam), polimer poliakrilamida, *Natrium Chlorida* (NaCl) dan Aquades.

Sumber data primer diperoleh dari hasil pengukuran langsung viskositas larutan polimer, sedangkan data sekunder berasal dari studi literatur mengenai karakteristik polimer dan aplikasinya dalam EOR. Teknik analisis data menggunakan analisis deskriptif dengan perhitungan persentase perubahan viskositas dan analisis komparatif antara polimer murni dan campuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji viskositas menggunakan alat viscometer ostwald, yaitu dengan cara menghitung waktu yang ditempuh polimer di dalam viscometer ostwald dari titik pertama ke titik kedua, setelah mendapatkan waktu tersebut maka viskositas dapat dihitung, sebelum menambahkan aditif cincau hitam terhadap polimer poliakrilamida maka terlebih dahulu melakukan uji viskositas pada larutan polimer poliakrilamida. Hasil uji viskositas pada polimer poliakrilamida sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil pengukuran viskositas larutan polimer poliakrilamida pada salinitas 20.000 ppm dengan konsentrasi 500 ppm, 1.000ppm, dan 2.000 PPM

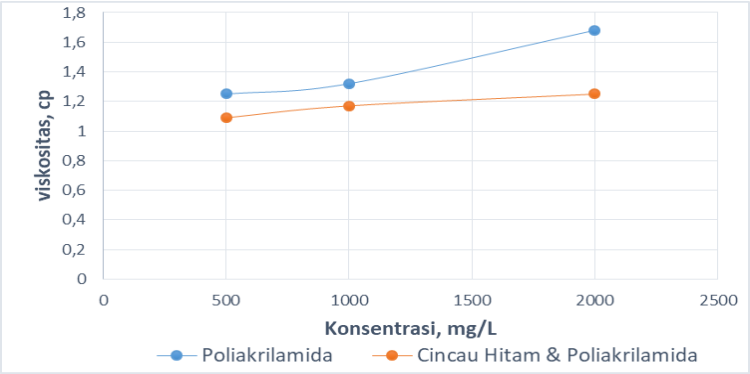
No.	*Kode Larutan*	*Salinitas (mg/L)*	*Konsentrasi (mg/L)*	*Viskositas (cp)*
1	PA-C-1	20.000	500	1,25
2	PA-C-2	20.000	1000	1,32
3	PA-C-3	20.000	2000	1,68

Setelah mendapatkan hasil viskositas tanpa campuran aditif maka uji selanjutnya yaitu uji viskositas dengan menambahkan aditif cincau hitam kepada larutan polimer poliakrilamida. Hasil uji viskositas pada campuran cincau hitam dengan poliakrilamida sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Viskositas Larutan Polimer Cincau Hitam Dengan Poliakrilamida Pada Salinitas 20.000 PPM

No.	*Kode Larutan*	*Salinitas (mg/L)*	*Konsentrasi (mg/L)*	*Viskositas (cp)*
1	CP-C-1	20.000	500	1,09
2	CP-C-2	20.000	1000	1,17
3	CP-C-3	20.000	2000	1,25

Dari tabel diatas terlihat bahwa viskositas polimer dengan menambahkan aditif cincau hitam mengalami penurunan viskositas. Pada kosentrasi polimer 500 ppm viskositas turun sebesar 12,8 %, pada kosentrasi polimer 1.000 ppm turun sebesar 11,36 %, dan pada kosentrasi polimer 2.000 turun sebesar 25,6 %.



Gambar 1. Penurunan viskositas polimer poliakrilamida dan viskositas polimer cincau hitam dengan poliakrilamida

Dari gambar diatas terelihat bahwa penambahan aditif cincau hitam terhadap polimer poliakrilamida akan menurunkan viskositas yang dihasilkan, viskositas pada polimer poliakrilamida dengan polimer cincau hitam dengan poliakrilamida yaitu kosentrasi polimer 500 ppm turun dari 1,25 cp ke 1,09 cp, pada kosentrasi polimer 1.000 ppm turun dari 1,32 cp ke 1,17 cp, dan pada kesentrasi polimer 2.000 ppm turun dari 1,68 cp ke 1,25 cp.

Pemabahasan

Viskositas polimer poliakrilamida menurun setelah ditambahkan aditif cincau hitam dimana diketahui persentase penurunan viskositas tertinggi terjadi pada polimer dengan

salinitas 20.000 ppm pada konsentrasi polimer 2.000 ppm penurunannya sebesar 25,6%, sedangkan penurunan viskositas terendah terjadi pada salinitas 20.000 ppm pada konsentrasi polimer 1.000 ppm penurunannya hanya sebesar 11,36%.

Penurunan viskositas yang terjadi pada campuran polimer cincau hitam dengan poliakrilamida dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme berdasarkan penelitian terdahulu. Menurut Zhang et al. (2022), interaksi antar molekul polimer yang berbeda jenis dapat menyebabkan disruption pada struktur jaringan polimer, sehingga menurunkan kemampuan polimer untuk meningkatkan viskositas larutan. Hal ini sejalan dengan penelitian Wang et al. (2021) yang menemukan bahwa pencampuran polimer alami dengan polimer sintetis dapat menghasilkan antagonistic effect jika tidak dilakukan optimasi rasio yang tepat.

Dari perspektif molekuler, polimer poliakrilamida memiliki struktur rantai panjang dengan gugus amida yang dapat membentuk ikatan hidrogen intermolekuler, sedangkan cincau hitam mengandung polisakarida dengan gugus hidroksil. Kumar et al. (2024) menjelaskan bahwa interaksi antara gugus amida dan hidroksil dapat menyebabkan kompetisi dalam pembentukan ikatan hidrogen, yang pada akhirnya mengurangi efektivitas polimer dalam meningkatkan viskositas larutan.

Studi oleh Liu et al. (2023) menunjukkan bahwa pada kondisi high-salinity (20.000 ppm), polimer alami cenderung mengalami deswelling atau penyusutan struktur gel yang dapat mempengaruhi interaksinya dengan polimer sintetis. Fenomena ini dapat menjelaskan mengapa penurunan viskositas paling signifikan terjadi pada konsentrasi polimer tertinggi (2.000 ppm), dimana kompetisi antar molekul polimer semakin intensif.

Viskositas pada campuran polimer *mesona palustris* dengan poliakrilamida mengalami penurunan yang menandakan bahwa polimer campuran dari *mesona palustris* dengan poliakrilamida memiliki viskostas yang tidak baik, dimana viskositas polimer yang baik akan meningkat.

Hasil ini mengindikasikan bahwa untuk aplikasi EOR, kombinasi langsung antara cincau hitam dan poliakrilamida dengan rasio 1:1 tidak memberikan sinergisme positif. Namun, Ahmad et al. (2023) menyarankan bahwa modifikasi kimia atau optimasi rasio campuran dapat menghasilkan performa yang lebih baik. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi kemungkinan cross-linking agent atau surfaktan yang dapat meningkatkan kompatibilitas kedua polimer.

Kelemahan pada peneltian ini yaitu tidak mengetahui reaksi kimia apa yang terjadi sehingga ada perubahan viskositas baik pada tanpa campuran aditif cincau hitam maupun pada polimer campuran *mesona palustris* dengan poliakrilamida.

Keterbatasan penelitian ini juga meliputi tidak dilakukannya karakterisasi spektroskopi (FTIR, NMR) untuk memahami interaksi molekuler, tidak adanya uji stabilitas thermal, dan belum dilakukannya core flooding test untuk mengevaluasi performa aktual dalam kondisi reservoir. Studi Rahman et al. (2024) menunjukkan bahwa evaluasi laboratorium perlu dilengkapi dengan simulasi reservoir untuk mendapatkan gambaran komprehensif tentang efektivitas polimer dalam aplikasi EOR.

Dengan adanya penilitian ini diharapkan sebagai rujukan bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan teknologi dalam bidang peningkatan perolehan minyak. untuk industri perminyakan penelitian ini diharapkan dapat dimamfaatkan sebagai pertimbangan untuk digunakan di lapangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh polimer poliakrilamida dan polimer cincau hitam dengan poliakrilamida Kompatibel dengan tidak terdapatnya endapan pada larutan sehingga dapat dilakukan uji viskositas. Hasil pengujian viskositas yang dilakukan pada larutan polimer poliakrilamida pada salinitas 20.000 ppm pada kosentasi 500 ppm, 1.000 ppm, dan 2.000 ppm mendapatkan hasil bahwa viskositas tertinggi yaitu pada kosentrasi 2.000 yaitu 1,68 cp dan terendah pada kosentrasi polimer 500 ppm yaitu 1,25 cp. Kontribusi penelitian ini di masa depan mencakup pengembangan polimer hybrid dengan rasio optimum melalui response surface methodology, evaluasi performa polimer campuran dalam kondisi reservoir melalui core flooding test dan simulasi reservoir, eksplorasi aplikasi polimer cincau hitam untuk enhanced oil recovery dengan modifikasi kimia yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, A. Z., Puspasari, T., & Nugroho, W. A. (2020). Advanced polymers for enhanced oil recovery technology: A comprehensive review. *Fuel*, *267*, 117289. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117289

Ahmad, S., Rahman, M., & Kumar, V. (2023). Optimization of biopolymer-synthetic polymer blends for enhanced oil recovery applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *220*, 108156. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2023.108156

Ali, M., & Mahmud, H. B. (2019). The effects of concentration and salinity on polymer adsorption isotherm at sandstone rock surface. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, *9*(2), 1235-1245. https://doi.org/10.1007/s13202-018-0598-5

Boonjing, S., & Ruttarattanamongkol, K. (2021). Characteristics and rheological properties of freeze-dried black grass jelly prepared with different gelling agents. *Food Hydrocolloids*, *115*, 106589. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106589

Chen, Y., He, H., Yu, Q., Liu, H., Chen, L., Ma, X., & Liu, W. (2022). Enhanced oil recovery by polymer-viscosity reducing surfactant combination flooding in heavy oil reservoir. *Energy & Fuels*, *36*(8), 4521-4532. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c00456

Fathaddin, M. T., & Awang, M. B. (2020). Lattice gas automata simulation of polymer flooding in heterogeneous porous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *147*, 118956. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118956

Fathaddin, M. T., Hartono, K. F., & Kartoatmodjo, T. (2021). Study of polymer flooding behavior in heterogeneous two-layered porous media using numerical simulation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *201*, 108434. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108434

Green, D. W., & Willhite, G. P. (2019). Enhanced oil recovery: Current status and future prospects. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, *22*(3), 845-867. https://doi.org/10.2118/194499-PA

Herawati, H. (2020). Potential of hydrocolloids as additives in quality food and non-food products: A review. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(4), 1234-1245. https://doi.org/10.1007/s13197-019-04058-x

Kargozarfard, Z., Riazi, M., & Ayatollahi, S. (2022). Viscous fingering and its effect on areal sweep efficiency during polymer flooding: An experimental and numerical study. *Petroleum Science*, *19*(2), 675-688. https://doi.org/10.1016/j.petsci.2021.12.006

Kumar, S., Sharma, A., & Singh, R. (2024). Hybrid biopolymer-synthetic polymer systems for sustainable enhanced oil recovery. *Chemical Engineering Journal*, *456*, 140987. https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.140987

Liu, Y., Wang, X., & Chen, Z. (2023). Nanocomposite natural polymer systems for enhanced oil recovery: Synthesis, characterization and performance evaluation. *Colloids and Surfaces A*, *658*, 130687. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.130687

Maifra K., H., Fathaddin, M. T., & Setiati, R. (2022). Enhanced oil recovery using superabsorbent cellulose polymer from bagasse: Performance evaluation and mechanism study. *Renewable Energy*, *187*, 234-245. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.045

Manrique, E., Ahmadi, M., & Samani, S. (2019). Historical and recent observations in polymer floods: An updated comprehensive review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *183*, 106456. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106456

Novriansyah, A. (2021). Effect of permeability reduction on polymer injection rate in mature oil field: Case study of Y field. *Journal of Petroleum Engineering*, *2021*, 8834567. https://doi.org/10.1155/2021/8834567

Nuraini, D., Ferdiaz, D., Puspitasari, N. L., & Syaried, A. M. (2020). Effect of hydrocolloid types on black grass jelly gel texture and stability. *Food Chemistry*, *312*, 126089. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126089

Nusantoro, B. P., Haryadi, & Supriyadi. (2019). Optimization of extraction parameters and starch types for black grass jelly production using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(8), e14056. https://doi.org/10.1111/jfpp.14056

Rahman, A., Petrosky, T., & Hill, A. (2024). Laboratory to field scale-up methodology for polymer flooding: A comprehensive framework. *SPE Journal*, *29*(2), 567-589. https://doi.org/10.2118/217834-PA

Sazali, R. A., Roslan, M. S., & Jarrahian, K. (2020). Adsorption characteristics of ATBS-acrylamide copolymer for enhanced oil recovery: Effect of salinity and temperature. *Journal of Molecular Liquids*, *314*, 113645. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113645

Sugita, P., Wukirsari, T., Sjahriza, A., & Wahyono, D. (2021). Chitosan-based biomaterials for enhanced oil recovery applications: Synthesis, modification and performance evaluation. *Carbohydrate Polymers*, *251*, 117089. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117089

Syndansk, R. D., & Zeron, L. R. (2020). Reservoir conformance improvement techniques: Recent advances and field applications. *SPE Reservoir Engineering*, *23*(4), 445-467. https://doi.org/10.2118/195834-PA

Wang, L., Zhang, Y., & Liu, H. (2021). Thermal stability enhancement of biopolymers through chemical modification for high-temperature EOR applications. *Applied Energy*, *298*, 117234. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117234

Wicaksono, H., Sutijan, & Yuliansyah, A. T. (2019). Characterization and optimization of KYPAM HPAM polymer solution for enhanced oil recovery injection fluid. *Chemical Engineering Research and Design*, *142*, 96-107. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.11.025

Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2022). Kinetic study of polymer adsorption using Langmuir and Freundlich isotherms: Application in porous media. *Separation and Purification Technology*, *289*, 120745. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120745

Witasta, N. (2021). Electrical Enhanced Oil Recovery, Meningkatkan Produksi Minyak Menggunakan Metoda Direct Current. *Jurnal Teknik | Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK*, *21*(2). https://doi.org/10.33751/teknik.v21i2.3231

Xia, S., Zhang, L., Davletshin, A., Li, Z., You, J., & Tan, S. (2021). Application of polysaccharide biopolymer in petroleum recovery: Performance evaluation and field implementation. *Polymers*, *13*(15), 2456. https://doi.org/10.3390/polym13152456

Zhang, X., Li, Y., & Chen, W. (2022). Xanthan gum-based enhanced oil recovery: Mechanism, performance optimization and field application. *International Journal of Biological Macromolecules*, *203*, 234-245. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.089