



Pengaplikasian Gelombang Elektromagnetik dan Nanopartikel Dielectric dalam Peningkatan Pemulihan Minyak

Riyan Aditya ¹, Dafairro Abbil Gunawan ², Della Saskia Amelia ³,

Syarif Hidayatullah ⁴, Diyajeng Luluk Karlina ⁵

^{1,2,3,4,5} Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

Korespondensi penulis: 2283230032@untirta.ac.id

Abstract. Enhanced oil recovery (EOR) is the recovery of oil remaining in a reservoir after primary and secondary recovery methods because it has been exhausted or is no longer economical, using thermal, chemical or mixed gas processes. Most conventional methods are not suitable for extracting oil from high temperature and high pressure (HTHP) reservoirs due to chemical degradation in the environment. Alternatively, electromagnetic (EM) energy is used as a thermal method to reduce oil viscosity in reservoirs, thereby increasing oil production. The application of nanotechnology in EOR is also investigated. In this study, we investigate a non-invasive method by injecting dielectric nanofluids into an oil reservoir simultaneously with electromagnetic irradiation, with the aim of increasing oil production by causing disruption at the oil-water interface. During core displacement tests, ZnO and Al₂O₃ nanofluids were shown to obtain higher amounts of residual oil than commercial sodium dodecyl sulfate (SDS) surfactant without EM irradiation. With EM irradiation, more residual oil is obtained compared to without irradiation. It has also been shown that changing the viscosity of dielectric nanofluids during electromagnetic irradiation increases sweep efficiency, resulting in higher oil recovery.

Keywords: Oil Recovery, Dielectric Nanoparticles, Electromagnetic Irradiation

Abstrak. Enhanced oil recovery (EOR) adalah perolehan kembali minyak yang tersisa di reservoir setelah metode pemulihan primer dan sekunder karena sudah habis atau tidak ekonomis lagi, menggunakan proses termal, kimia, atau gas campuran. Kebanyakan metode konvensional tidak cocok untuk mengekstraksi minyak dari reservoir bersuhu tinggi dan bertekanan tinggi (HTHP) karena degradasi bahan kimia di lingkungan. Alternatifnya, energi elektromagnetik (EM) digunakan sebagai metode termal untuk mengurangi viskositas minyak di reservoir, sehingga meningkatkan produksi minyak. Penerapan nanoteknologi di EOR juga diselidiki. Dalam penelitian ini, kami menyelidiki metode non-invasif dengan menyuntikkan nanofluida dielektrik ke dalam reservoir minyak secara bersamaan dengan iradiasi elektromagnetik, dengan tujuan meningkatkan produksi minyak dengan menyebabkan gangguan pada antarmuka minyak-air. Selama uji perpindahan inti, nanofluida ZnO dan Al₂O₃ terbukti memperoleh jumlah sisa minyak yang lebih tinggi dibandingkan surfaktan natrium dodesil sulfat (SDS) komersial tanpa iradiasi EM. Dengan iradiasi EM, sisa minyak yang diperoleh lebih banyak dibandingkan tanpa iradiasi. Juga telah ditunjukkan bahwa mengubah viskositas nanofluida dielektrik selama iradiasi elektromagnetik meningkatkan efisiensi sapuan, menghasilkan perolehan minyak yang lebih tinggi.

Kata kunci: Pemulihan Minyak, Nanopartikel Dielectric, Iradiasi Elektromagnetik

1. LATAR BELAKANG

Enhanced oil recovery (EOR) merupakan salah satu metode yang berguna untuk mengoptimalkan proses ekstraksi pada minyak dari reservoir. Setelah proses metode pemulihan primer dan sekunder, masih banyak minyak yang tersisa pada reservoir, sehingga memerlukan teknik yang canggih untuk meningkatkan proses pemulihan. Dengan berbagai proses metode yang ada, teknik berbasis energi elektromagnetik (EM), serta nanopartikel di elektrik akan muncul sebagai alternatif

yang menjanjikan, salah satunya adalah pada kondisi reservoir yang terdapat suhu dan tekanan tinggi (HTHP). Kondisi HTHP ini akan menyebabkan degradasi bahan kimia yang akan di proses dalam metode konvensional, akan berdampak pada rendahnya efisiensi di dalam metode pemulihan minyak. Maka, penelitian ini akan berfokus pada pengaplikasian gelombang elektro magnetik agar meminimalisir viskositas minyak, dan juga pengaplikasian pada nanoteknologi dalam suspensi nanopartikel di elektrik. Hasil dari penelitian sebelumnya menunjukkan penggunaan nanopartikel seperti Zinc Oxide (ZnO) dan Aluminium Oxide (Al₂O₃) pada metode EOR akan menghasilkan volume minyak residual yang meningkat di bandingkan surfaktan komersial. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi lebih dalam tentang mekanisme dan efektifitas penggunaan nanopartikel di elektrik dan energi elektromagnetik. Untuk meningkatkan efisiensi pada pemulihan minyak, dan membandingkan hasilnya pada metode konvensional.

2. KAJIAN TEORITIS

Metode Thermal

Metode Thermal melibatkan pemanasan reservoir untuk mengurangi viskositas minyak, sehingga memudahkan pemindahan minyak. Namun, metode ini sering kali tidak efektif pada reservoir dengan suhu dan tekanan tinggi (HTHP) karena degradasi bahan kimia yang digunakan (Chetri dan Islam, 2008).

Metode Kimia

Dalam metode kimia, polimer, surfaktan, dan alkali dicampurkan dengan air sebelum di suntikan kedalam reservoir. Metode ini bertujuan untuk mengurangi tegangan antara muka antara minyak dan air, meningkatkan efisiensi penyapuan, atau mengubah wettability permukaan batuan. Namun, pada kondisi (HTHP), banyak bahan kimia mengalami degradasi, sehingga mengurangi efektivitas pemulihan (Ahmari dan Etemad, 2009).

Nanoteknologi dalam Enhanced oil recovery (EOR)

Penggunaan teknologi dalam EOR telah menunjukkan potensi besar. Nanopartikel dielektrik seperti Zinc Oxide (ZnO) dan aluminium oxide (Al₂O₃) dapat digunakan sebagai nanofluida yang disuntikan dalam reservoir. Ketika nanopartikel ini terpapar terhadap medan elektromagnetik (EM), mereka dapat mengalami polarisasi yang menciptakan dipol elektrik dan meningkatkan interaksi antara minyak, air, dan batuan.

Hal ini dapat mengurangi viskositas dan meningkatkan efisiensi pemindahan minyak (Mohd Zaid et al., 2012).

Medan Elektromagnetik

Pemaparan pada gelombang elektromagnetik dalam EOR menunjukkan bahwa peningkatan signifikan dalam volume minyak yang dipulihkan. Gelombang medan elektromagnetik akan mengubah sifat nanofluida serta viskositas. Pada saat nanopartikel dielektrik terpapar medan EM, maka akan membentuk struktur rantai sementara yang berhubungan dengan peningkatan viskositas (Murshed et al., 2008).

Mekanisme Viskositas

Perubahan pada viskositas terjadi akibat injeksi pada nanofluida dan pemaparan medan elektromagnetik berperan penting dalam peningkatan efisiensi pemulihan. Viskositas yang lebih tinggi akan membantu mengurangi rasio mobilitas antara minyak dan air, yang akan meningkatkan efisiensi dan mempercepat pemulihan minyak (Singh et al., 2010).

3. METODE PENELITIAN

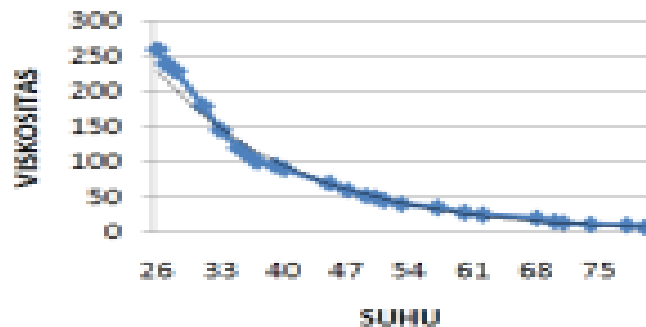
Penelitian ini menggunakan beberapa metode untuk menerapkan gelombang elektromagnetik dan nanopartikel dielektrik pada pemulihan minyak bumi (Enhanced oil recovery (EOR)). Pada proses persiapan medium berpori dan karakterisasi petrofisika, di mana bebola kaca homogen dengan ukuran 90-150 μm dan 450-600 μm ditaburkan dalam tabung akrilik transparan berdiameter 50mm x 46mm. Tabung akrilik transparan ini ditutup menggunakan katup aluminium untuk memastikan keamanan dan tekanan-tekanan, serta dilengkapi dengan fitting baja dan tabung PVC untuk sistem masukan dan keluarannya. Selain itu, nanopartikel oksida dielektrik, zink oksida (ZnO) dan aluminium oksida (Al₂O₃) disintesis dengan konsentrasi 0,05% berat di dalam cairan dasar, dengan ukuran kristalit sekitar 45 nm dan 38 nm yang diukur melalui analisis XRD. Pengukuran tegangan antarmuka antara minyak dan cairan injeksi, termasuk terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusinya dalam penyusunan jurnal ini. Terima kasih juga kepada rekan-rekan, mentor, dan lembaga yang telah memberikan sumber daya dan wawasan yang berharga. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat, SDS akuatik, dan garam, dilakukan menggunakan Spinning Drop Video Tensiometer. Viskositas cairan juga diukur menggunakan dengan menggunakan Brookfield CAP 2000+ Viscometer pada suhu 25°C. Pada proses percobaan banjir inti,

butiran kaca dipadatkan dan diasapi dengan garam 30.000 ppm, dan sifat-sifat seperti permeabilitas, porositas, dan volume pori yang ditentukan. Setelah itu, minyak mentah diinjeksikan hingga mencapai kejenuhan air yang tak tergantikan, kemudian diikuti dengan proses pengendapan air hingga 30% tingkat udara terendap, serta injeksi nanofluida dan juga SDS pada laju alir tetap 2,5ml/menit untuk tahap Enhanced Oil Recovery (EOR).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat peningkatan signifikan dalam perolehan minyak setelah menerapkan gelombang elektromagnetik dan Nanopartikel Dielectric dalam sistem pemulihan. Pada penelitian ini, peningkatan pemulihan minyak difokuskan pada pemanfaatan gelombang elektromagnetik (EM) dan Nanopartikel Dielectric sebagai dua faktor yang saling melengkapi untuk proses peningkatan perolehan minyak.

Penurunan Viskositas Minyak

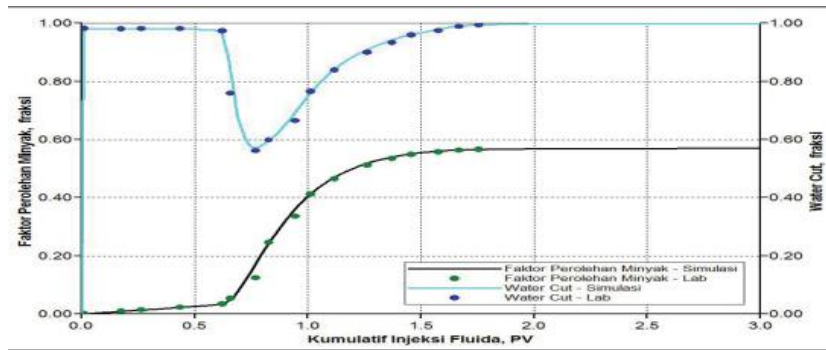


Gambar 1. Proses Penurunan Viskositas Minyak

Sumber: Erika Rani (2010)

Viskositas minyak adalah ketebalan atau kekentalan cairan dari minyak, yang akan mempengaruhi kemampuan minyak untuk mengalir melalui pori-pori batuan pada reservoir. Melalui iradiasi elektromagnetik ini, suhu yang berada pada reservoir dapat meningkat, yang kemudian menyebabkan penurunan viskositas minyak. Selanjutnya, penurunan viskositas ini membuat minyak lebih mudah mengalir melalui pori-pori batuan yang meningkatkan perolehan minyak.

Peningkatan Efisiensi Injeksi Fluida

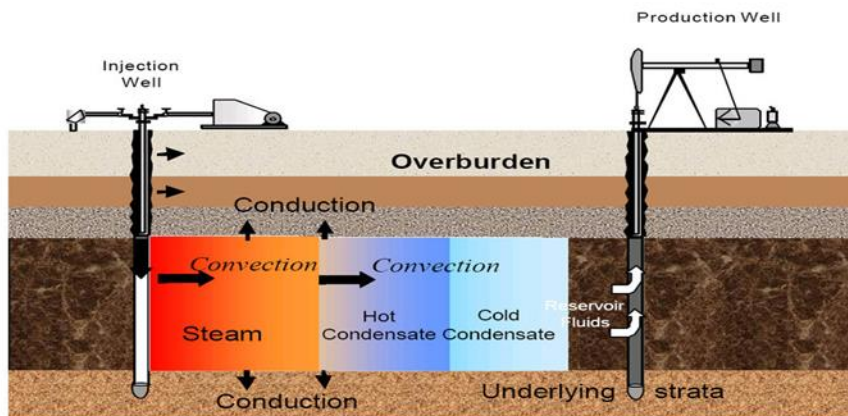


Gambar 2. Faktor Perolehan Minyak Terhadap Kumulatif Injeksi Fluida

Sumber: www.journal.lemigas.esdm.go.id

Peningkatan efisiensi injeksi fluida merupakan salah satu aspek penting untuk teknik pemulihan minyak, bertujuan untuk meningkatkan produksi minyak dari reservoir yang sudah diproduksi. Nanopartikel dielectric yang ditambahkan ke dalam injeksi fluida akan dapat membantu pada proses perbaikan aliran fluida dalam sebuah reservoir, dengan mengurangi gesekan internal dan meningkatkan mobilitas pada fluida. Nanopartikel dielectric ini mempunyai sifat dielektrik yang bisa berinteraksi dengan medan elektromagnetik.

Peningkatan Permeabilitas Reservoir



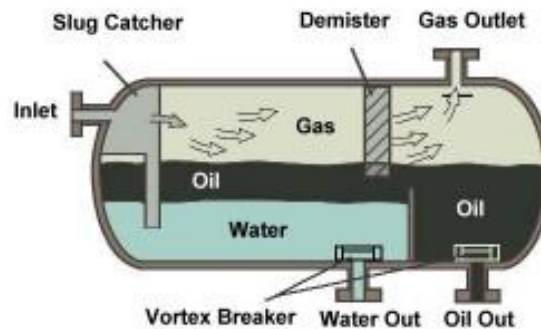
Gambar 3. Permeabilitas Reservoir

Sumber: <https://minyak.up45.ac.id/eor/>

Produksi minyak dari reservoir secara alami menurun seiring waktu, dan metode primer dan sekunder hanya mampu mengekstraksi 15-30% dari total minyak yang ada di reservoir. EOR bertujuan untuk meningkatkan ekstraksi minyak hingga 60% atau lebih dengan memperbaiki mobilitas dan perpindahan minyak yang tersisa. Dalam pemulihan minyak, permeabilitas yang rendah akan menjadi salah satu hambatan utama dalam

proses injeksi fluida dan pemulihan minyak. Penggunaan nanopartikel dielectric di dalam injeksi akan berpotensi memperbaiki permeabilitas batuan pada reservoir, terutama di daerah yang sebelumnya sulit dijangkau oleh aliran fluida.

Pengaruh Terhadap Aliran Multiphase



Gambar 4. Satu Fase dalam Fluida

Sumber: www.aeroengineering.co.id/2021/

Dalam reservoir minyak, aliran multiphase merujuk pada kondisi di mana lebih dari satu fase fluida (minyak, air, dan gas) yang bergerak bersamaan di dalam saluran pori batuan. Penambahan nanopartikel dielectric dapat mengubah karakteristik aliran minyak, air dan gas juga akan dapat mengoptimalkan rasio aliran dan meningkatkan efisiensi proses pemulihan.

Hasil dari penelitian pemanfaatan gelombang elektromagnetik dan nanopartikel dielectric dalam pemulihan minyak menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam proses peningkatan perolehan minyak dari reservoir yang sudah menurun produksinya. Pemanasan yang dihasilkan dari iradiasi elektromagnetik tidak hanya membantu menurunkan viskositas minyak tetapi juga memperbaiki pergerakan fluida dalam reservoir. Nanopartikel dielectric berperan penting dalam meningkatkan sifat fisik pada fluida injeksi, memperbaiki kontak antara fluida dan batuan serta meningkatkan efisiensi terhadap aliran minyak. Namun, ada beberapa tantangan yang perlu dihadapi dalam penerapan teknologi ini adalah pemahaman lebih mendalam mengenai interaksi antara nanopartikel dan berbagai jenis batuan reservoir yang berbeda-beda, serta pengendalian parameter-parameter operasional seperti suhu dan konsentrasi nanopartikel untuk mengoptimalkan hasilnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan nanopartikel dielektrik yang dikombinasikan dengan radiasi elektromagnetik terbukti efektif dalam meningkatkan produksi minyak. Penelitian telah

menunjukkan bahwa peningkatan viskositas nanofluida akibat radiasi elektromagnetik berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi penyapuan, sehingga lebih banyak minyak dapat diperoleh kembali dalam waktu lebih singkat. Metode baru ini memberikan solusi yang menjanjikan terhadap tantangan produksi minyak dari reservoir bersuhu tinggi dan bertekanan tinggi serta meningkatkan penggunaan nanoteknologi dalam industri minyak. bahwa pada konsentrasi nanopartikel rendah, tidak ada penurunan IFT yang signifikan yang dicapai. Oleh karena itu, berdasarkan pengukuran terlihat jelas bahwa peningkatan viskositas berperan penting dalam meningkatkan produksi reservoir minyak. Dengan mengurangi rasio perpindahan minyak terhadap air, efisiensi penyapuan ditingkatkan, sehingga lebih banyak minyak yang tersapu dalam waktu yang lebih singkat. Recovery tertinggi dari banjir nanofluida sendiri dicapai dengan ROIP sebesar 32,88% yaitu injeksi nanofluida Al_2O_3 11,8% lebih banyak minyak yang diperoleh dibandingkan dengan nanofluida ZnO dan 41,2% lebih banyak minyak yang diperoleh dibandingkan dengan SDS. Karena sifat elektrorheologi nanofluida, viskositas nanofluida diperkirakan akan meningkat dengan adanya gelombang elektromagnetik. Injeksi nanofluida Al_2O_3 berhasil memulihkan ROIP 54,2% ketika terkena medan elektromagnetik dan memulihkan minyak 5,12% lebih banyak dibandingkan nanofluida ZnO .

6. DAFTAR REFERENSI

- Ahmari, H., & Etemad, S. G. (2009). Electrorheological response of SnO_2 and Y_2O_3 nanoparticles in silicon oil. *Rheologica Acta*, 48(3), 217-220. <https://doi.org/10.1007/s00397-009-0371-5>
- Bera, A., Ojha, K., Mandal, A., & Kumar, T. (2011). Interfacial tension and phase behavior of surfactant-brine-oil system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 383(1-3), 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.06.014>
- Chhetri, A. B., & Islam, M. R. (2008). A critical review of electromagnetic heating for enhanced oil recovery. *Petroleum Science and Technology*, 26(14), 1619-1631. <https://doi.org/10.1080/10916460802003272>
- Hunter, T. N., Pugh, R. J., Franks, G. V., & Jameson, G. J. (2008). The role of particles in stabilizing foams and emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 137(2), 57-81. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2007.08.002>
- Kutuzov, S., He, J., Tangirala, R., Emrick, T., Russell, T. P., & Böker, A. (2007). On the kinetics of nanoparticle self-assembly at liquid/liquid interfaces. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 9(48), 6351-6358. <https://doi.org/10.1039/b715855c>

- Lee, S. C., Kwon, Y. M., Chae, H. J., Jung, S. Y., Lee, J. B., Ryu, C. K., ... & Kim, J. C. (2013). Improving regeneration properties of potassium-based alumina sorbents for carbon dioxide capture from flue gas. *Fuel*, *104*, 882-885. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.11.048>
- Murshed, S. S., Tan, S. H., & Nguyen, N. T. (2008). Temperature dependence of interfacial properties and viscosity of nanofluids for droplet-based microfluidics. *Journal of Physics D: Applied Physics*, *41*(8), 085502. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/41/8/085502>
- Prosser, A. J., & Franses, E. I. (2001). Adsorption and surface tension of ionic surfactants at the air–water interface: Review and evaluation of equilibrium models. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *178*(1-3), 1-40. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(01\)00710-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(01)00710-1)
- Rangel-German, E. R., Schembre, J., Sandberg, C., & Kovsky, A. R. (2004). Electrical-heating-assisted recovery for heavy oil. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *45*(3-4), 213-231. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2004.01.009>
- Singh, P. K., Anoop, K. B., Patel, H. E., Sundararajan, T., Pradeep, T., & Das, S. K. (2009). Anomalous size dependent rheological behavior of alumina-based nanofluids. *Applied Physics Letters*, *94*(18), 181909. <https://doi.org/10.1063/1.3131965>
- Tagliabue, M., Bellussi, G., Broccia, P., Carati, A., Millini, R., Pollesel, P., & Rizzo, C. (2012). High pressure hydrogen sulphide adsorption on silica–aluminas. *Chemical Engineering Journal*, *210*, 398-403. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.08.025>
- Vafae, M., & Ghamsari, M. S. (2007). Preparation and characterization of ZnO nanoparticles by a novel sol–gel route. *Materials Letters*, *61*(14-15), 3265-3268. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.08.045>
- Zaid, H. M., Yahya, N., Ahmad Latiff, N. R., & Demiral, B. (2012, September). Synthesis and characterization of dielectric nanoparticles for application in enhanced oil recovery. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1482, No. 1, pp. 146-151). American Institute of Physics. <https://doi.org/10.1063/1.4743964>
- Lakatos, I., & Szabó, J. L. (2009, June). Role of conventional and unconventional hydrocarbons in the 21st century: Comparison of resources, reserves, recovery factors and technologies. In *SPE Europe Featured at EAGE Conference and Exhibition* (pp. SPE-121775). Society of Petroleum Engineers.
- Gao, C. H. (2011, December). Advances of polymer flood in heavy oil recovery. In *SPE International Heavy Oil Conference and Exhibition* (pp. SPE-150384). Society of Petroleum Engineers.
- Ayatollahi, S., & Zerafat, M. M. (2012, June). Nanotechnology-assisted EOR techniques: New solutions to old challenges. In *SPE International Oilfield Nanotechnology Conference and Exhibition* (pp. SPE-157094). Society of Petroleum Engineers.