



PENGARUH MIKROPOROSITAS TERHADAP PERHITUNGAN SATURASI AIR DI RESERVOIR VOLKANIK

Benyamin¹, Agus Guntoro², Fajar Hendrasto^{3*}, Imam Munawir⁴

¹ Magister Teknik Geologi, Fakultas Universitas Trisakti, Jakarta, 11440, Indonesia

*Penulis Koresponden: f_hendrasto@trisakti.ac.id

ABSTRAK

Mikroporositas telah menjadi objek penting bagi industri perminyakan selama bertahun-tahun karena pengaruhnya terhadap kualitas reservoir. Banyak literatur menunjukkan berbagai upaya empiris dan ilmiah untuk mengidentifikasi dan mengukurnya menggunakan log dan inti batuan. Tujuan identifikasi kualitatif dan kuantitatif akan sangat membantu dalam menghitung porositas efektif dan saturasi air, yang pada gilirannya dapat digunakan untuk mendapatkan nilai *Original Oil in Place* (OOIP) dari kandungan hidrokarbon dalam reservoir yang akan diproduksi. Penelitian menunjukkan adanya mikroporositas pada reservoir vulkanik, baik secara langsung dari penampang petrografi dan SEM, maupun secara tidak langsung dari interpretasi yang dilakukan dari analisis petrofisika. Keberadaan mikroporositas secara signifikan memengaruhi perhitungan Saturasi Air. Semakin banyak mikroporositas dalam reservoir vulkanik, semakin besar nilai Saturasi Air, yang tentu saja memengaruhi nilai OOIP. Selain itu, keberadaan mikroporositas juga memengaruhi kualitas reservoir; semakin banyak mikroporositas, semakin rendah produksi kumulatif dari reservoir tersebut

ABSTRACT

Microporosity has been a crucial object for the oil industry for many years due to its influence on reservoir quality. Numerous literatures demonstrate different empirical and scientific efforts to identify and quantify it using both logs and cores. The purpose of qualitative and quantitative identification will be very helpful in calculating effective porosity and water saturation, which in turn can be used to obtain the Original Oil in Place value of the hydrocarbon content in the reservoir to be produced. The research shows the presence of microporosity in volcanic reservoirs, both directly from petrographic sections and Scanning Electron Microscopes, as well as indirectly from interpretations carried out from petrophysical analysis. The presence of microporosity significantly influences the calculation of Water Saturation. The more microporosity in a volcanic reservoir, the greater the Water Saturation value, which of course affects the OOIP value. In addition, the presence of microporosity also affects reservoir quality; the more microporosity there is, the lower the cumulative production from the reservoir. Microporosity, Petrography, SEM, Log

SEJARAH ARTIKEL

Diterima
Mei 2026
Revisi
Mei 2026
Disetujui
Juni 2026
Terbit online
Juli 2026

KATA KUNCI

- Microporosity
- Petrography
- SEM
- Log

1. PENDAHULUAN

Analisis petrofisika memiliki tujuan utama untuk menghasilkan informasi yang mempermudah penentuan STOIIP atau GIIP reservoir. Analisis ini terutama mencakup porositas dan saturasi bersih terhadap saturasi kotor. Porositas bersih terhadap saturasi kotor dan permeabilitas adalah besaran yang mudah dipetakan untuk memenuhi persyaratan saturasi, namun memerlukan pertimbangan khusus untuk ekstrapolasi dari sumur. Untuk reservoir batupasir konvensional, parameter yang dibutuhkan dapat langsung digunakan tanpa koreksi. Namun, hal ini tidak berlaku untuk reservoir nonkonvensional seperti reservoir batuan vulkanik. Porositas pada reservoir ini terutama dihasilkan oleh proses diagenesis dalam bentuk porositas makro dan mikro.

Porositas yang terbaca oleh log mewakili total porositas mikro dan makro yang tidak dapat dipisahkan, sementara keberadaan porositas mikro secara signifikan memengaruhi kualitas reservoir dan tidak memberikan kondisi aktual dalam menghitung saturasi air dan cadangan minyak atau gas di tempat, sehingga memengaruhi perhitungan ekonomi pengembangan reservoir. Oleh karena itu, untuk reservoir nonkonvensional seperti batuan vulkanik, perlu terlebih dahulu mengidentifikasi kandungan mikroporositas baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Makalah ini membahas pengaruh mikroporositas terhadap perhitungan saturasi air dan kualitas reservoir vulkanik, yang pada gilirannya memengaruhi perhitungan OOIP dan produksi kumulatif reservoir.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Kualitatif dengan cara pengamatan baik pada data log maupun core sedangkan kuantitatif dengan cara menghitung porositas mikro berdasarkan data log dan juga data core. Hasilnya berupa klasifikasi dari porositas mikro yang ada di batuan vulkanik yang dianalisis, plot silang -plot silang dan persamaan regresi yang akan memberikan gambaran keberadaan porositas mikro baik secara kuantitatif maupun kualitatif, porositas yang dihasilkan digunakan untuk menghitung saturasi air dan hasilnya divalidasi dengan data produksi. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

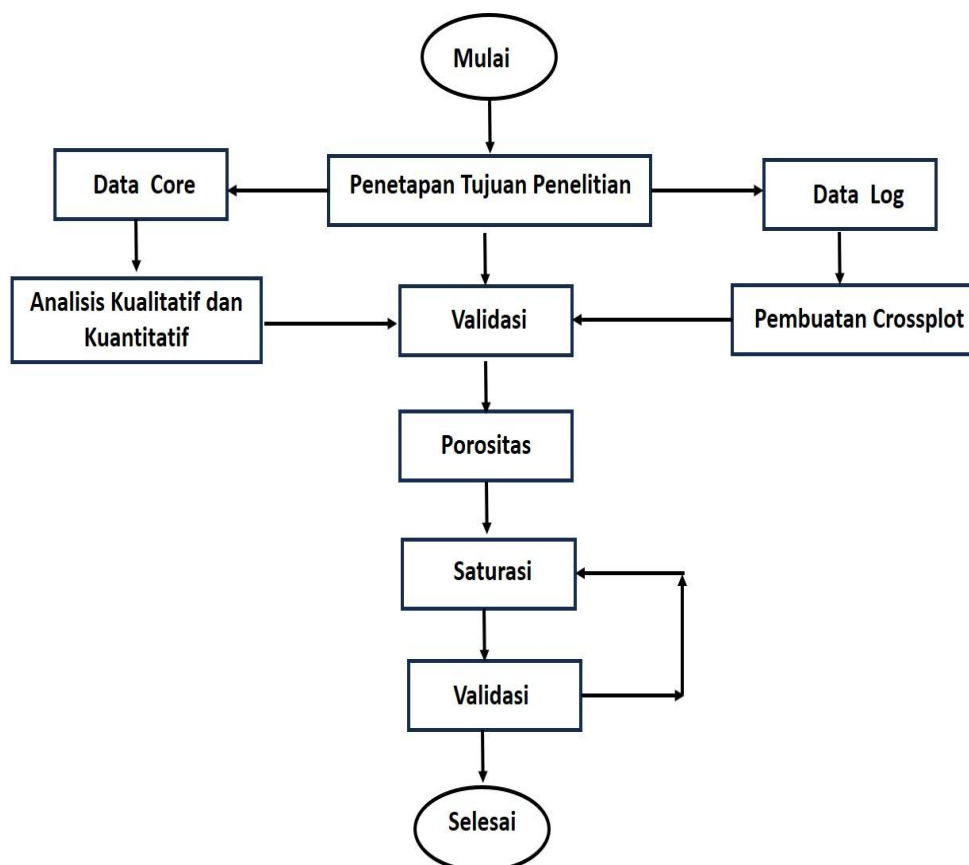
3. HASIL DAN DISKUSI

Seperti pada pekerjaan analisis petrofisika lainnya, penelitian ini yang juga merupakan bagian dari analisis petrofisika dimulai dengan identifikasi litologi batuan yang membentuk reservoir vulkanik dalam bentuk pembuatan berbagai crossplot dari log yang tersedia, yang hasilnya kemudian divalidasi

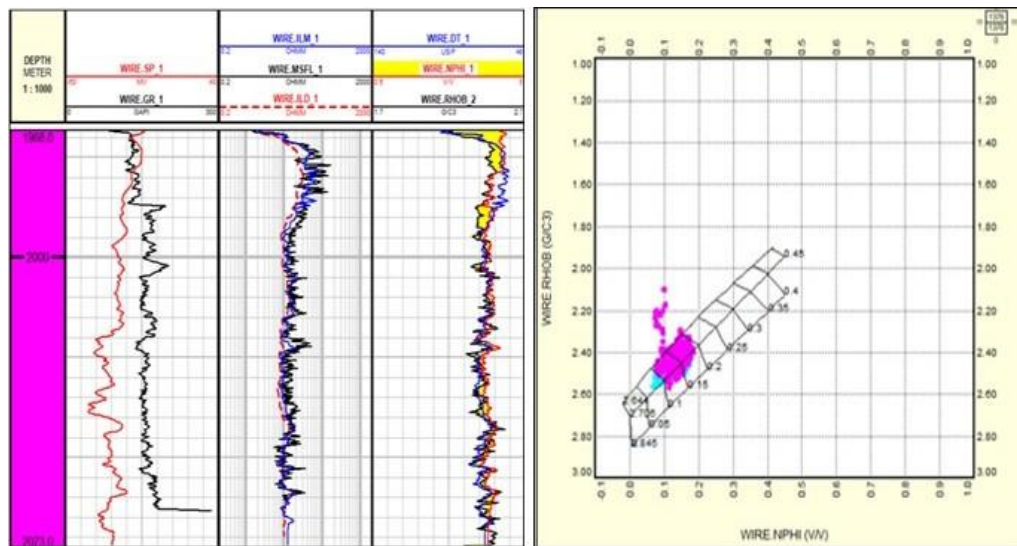
menggunakan log. Seperti yang terlihat di bawah ini, batuan yang membentuk reservoir vulkanik terdiri dari batuan erupsi efusif (penamaan batuan menggunakan klasifikasi TAS dari Le Maitre et al, 2002. yang merupakan batuan menengah hingga dasar, yaitu Andesit dan Basalt (Gambar 2).

Hasil plot silang kemudian divalidasi menggunakan data inti yang telah dipotong secara petrografi (Gambar 3). Jenis batuan reservoir vulkanik kedua adalah batuan vulkanik yang dihasilkan oleh erupsi eksplosif, yaitu batuan piroklastik. Studi ini tidak membedakan apakah batuan piroklastik tersebut berupa aliran atau jatuhan. Klasifikasi batuan piroklastik menggunakan klasifikasi Pettijohn (1975) baik untuk penampang petrografi maupun sampel tangan.

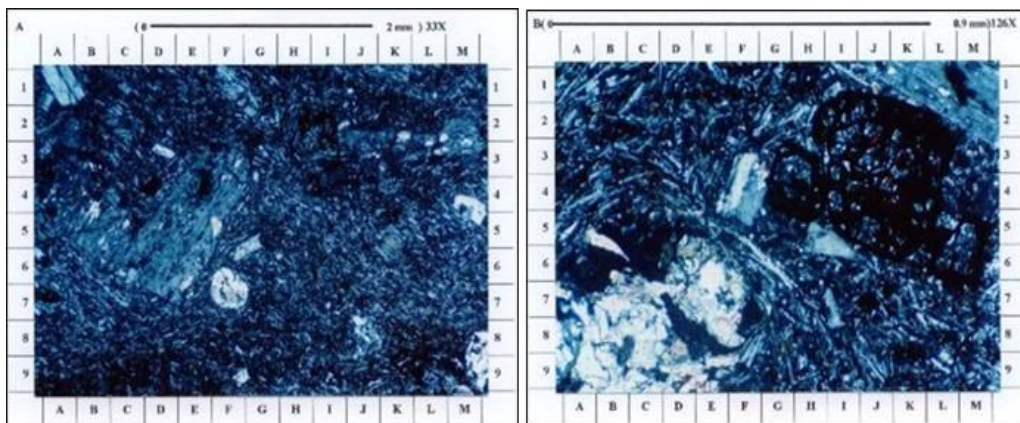
Berdasarkan hasil analisis log, dibuatlah sebuah crossplot yang kemudian divalidasi menggunakan inti batuan yang telah diolah menjadi penampang petrografi batuan yang membentuk reservoir vulkanik, yaitu batuan hasil letusan eksplosif yang terdiri dari 3 jenis, yaitu Tuff Litik, Tuff Kristal, dan Tuff Vitrik. Jenis log, hasil crossplot, dan penampakan penampang petrografi masing-masing batuan dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



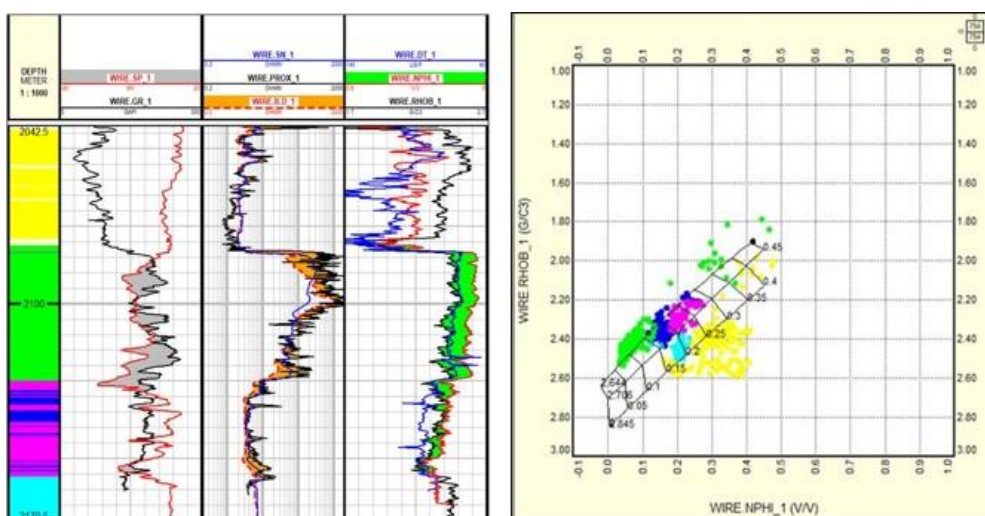
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



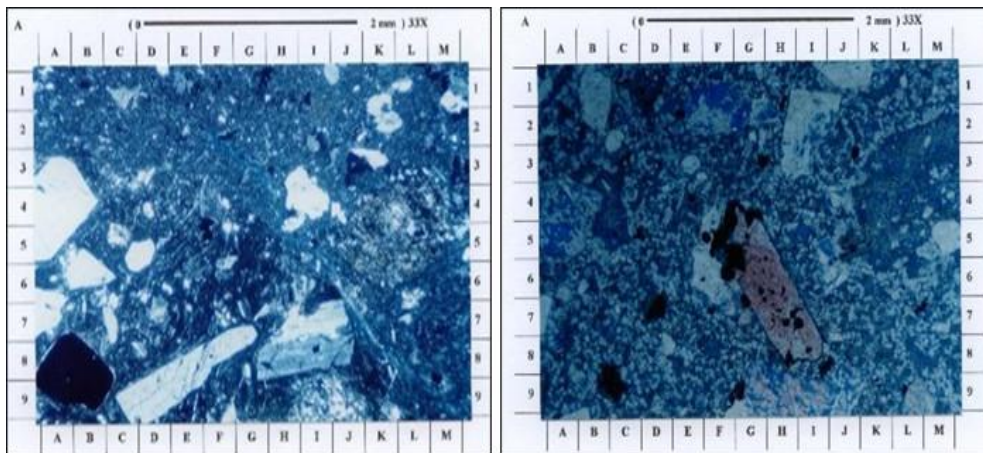
Gambar 2. *Type Log dan Crossplot Batuan Vulkanik Basalt*



Gambar 3. *Sayatan Petrografi Batuan Vulkanik Basalt*

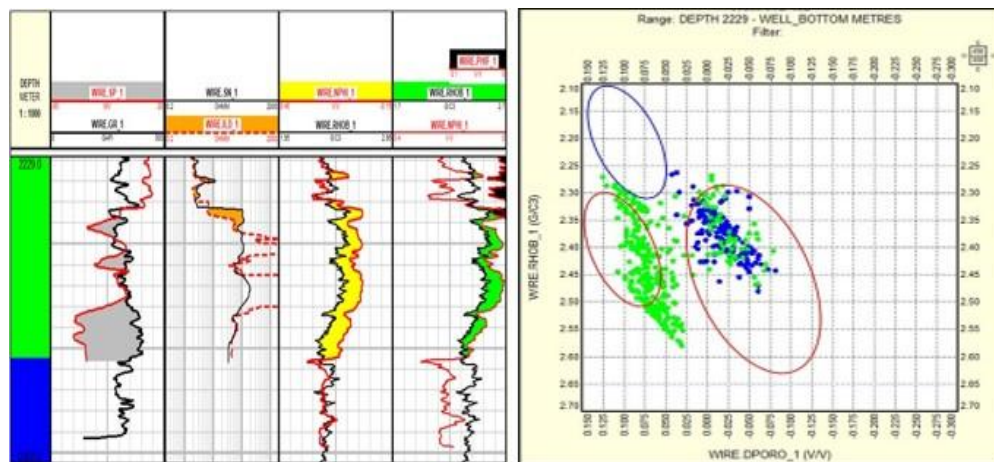


Gambar 4. *Jenis Log dan Crossplot Batuan Vulkanik Tuff Litik (Biru Muda), Tuff Kristal (Biru Tua dan Merah Muda) dan Tuff Vitrik (Hijau)*

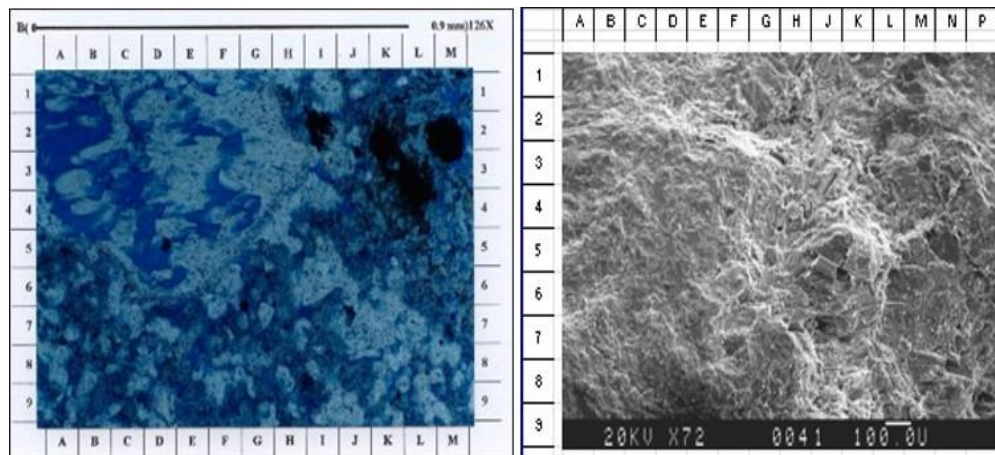


Gambar 5. Penampang Petrografi Batuan Vulkanik Tuff Kristal

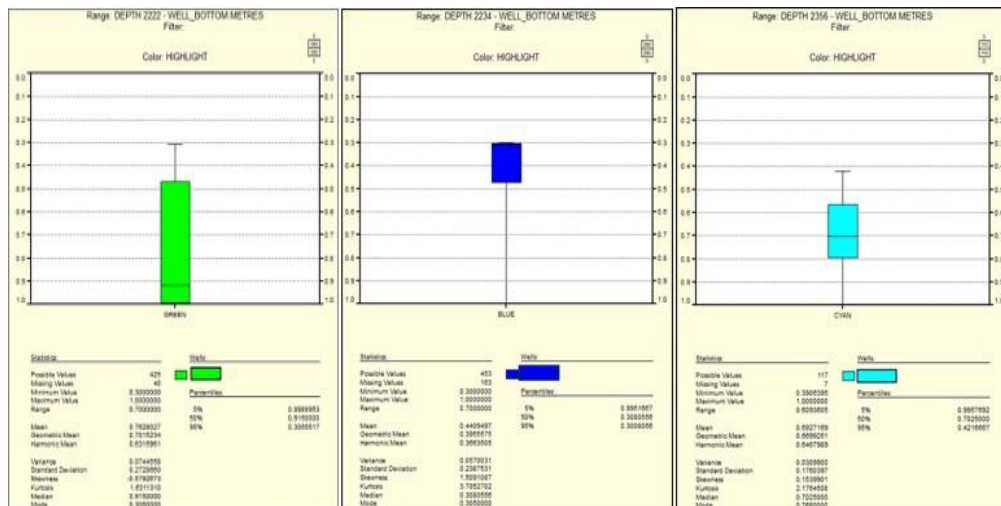
Langkah selanjutnya adalah menganalisis keberadaan mikroporositas berdasarkan log Neutron dan Densitas (Gambar 6). Hasilnya kemudian divalidasi menggunakan inti batuan yang telah dibuat sebagai sayatan tipis dan analisis Pemindaian Mikroskop Elektron Pemindaian (SEM) seperti pada Gambar 7. Dari data petrografi dan penampang SEM, kemudian dilakukan analisis genesa mikroporositas yang ada. Pembentukan mikroporositas yang terdapat pada reservoir batuan vulkanik terbagi menjadi dua: pertama, mikroporositas yang dihasilkan dari proses pelarutan (porositas sekunder). Baik mikroporositas primer maupun mikroporositas sekunder keduanya diyakini berkontribusi pada perhitungan saturasi air. Perhitungan saturasi air dengan menggunakan persamaan Indonesia) dapat kita lihat hasilnya di Gambar 8.



Gambar 6. Contoh hasil analisis mikroporositas berdasarkan log Densitas-Neutron



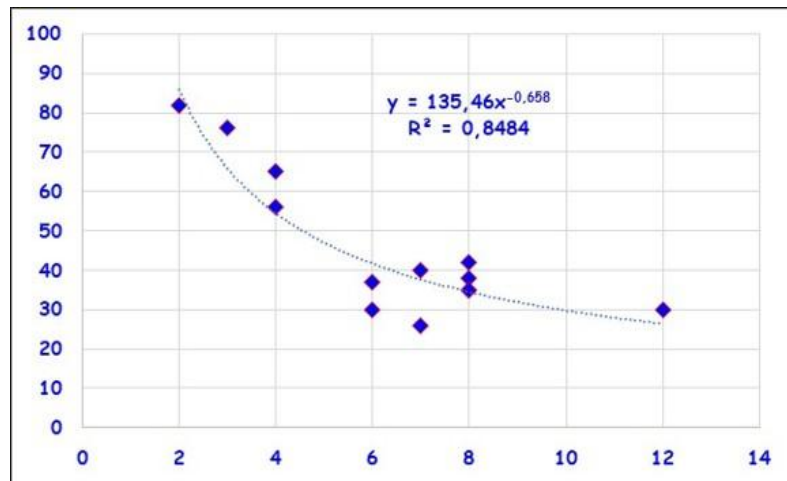
Gambar 7. Kenampakan mikroporositas pada sayatan petrografi dan SEM



Gambar 8. Nilai perhitungan mikroporositas dari 3 sumur

Gambar 9 memperlihatkan hubungan antara nilai saturasi dan nilai hasil perhitungan saturasi air. Dari gambar tersebut terlihat bahwa terdapat hubungan antara keberadaan mikroporositas terhadap perhitungan saturasi air di reservoir vulkanik dengan hubungan berupa pangkat $y = 135,46x - 0,658$ dengan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0,8484$.

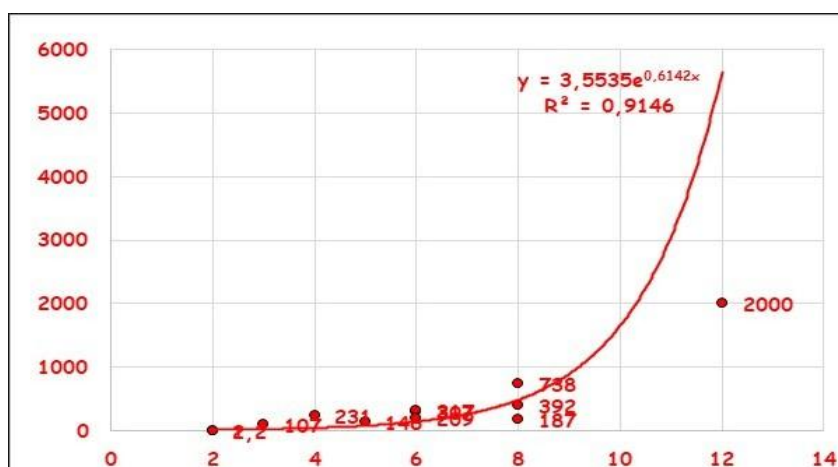
Semakin besar nilai keberadaan nilai mikroporositas maka nilai saturasi air menjadi semakin kecil, artinya terdapat kontribusi dari keberadaan mikroporositas sebagai porositas yang dapat menampung hidrokarbon sekaligus berkontribusi terhadap jumlah hidrokarbon atau perhitungan Oil in Place di reservoir vulkanik.



Gambar 9. Hubungan antara nilai mikroporositas dan saturasi air

Dari 129 sumur yang diteliti dapat terlihat adanya hubungan antara keberadaan mikroporositas dengan kumulatif produksi sumuran. Tiga jenis batuan penyusun reservoir vulkanik yaitu Vitric Tuff, Crystal Tuff dan Lithic Tuff hanya pada vitric Tuff yang konsisten memperlihatkan nilai mikroporositas yang positif, pada Crystal Tuff beberapa sumur memperlihatkan nilai positif dan sebagian lainnya memperlihatkan nilai negatif sedangkan pada Lithic Tuff seluruhnya memperlihatkan nilai yang negatif. Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa keberadaan mikroporositas cenderung akan berhubungan dengan litologi dengan ukuran butir halus.

Nilai mikroporositas pada umumnya ada pada kisaran 0 hingga 12%. Dari plot antara nilai mikroporositas dan kumulatif produksi sumuran terlihat keduanya mempunyai hubungan eksponensial yang baik dengan persamaan $y = 3,5535e^{0,6142x}$ dan $R^2 = 0,9146$ (Gambar 10).



Gambar 10. Hubungan antara nilai mikroporositas dan kumulatif produksi

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Litologi reservoir vulkanik terdiri dari hasil erupsi efusif yaitu Basalt dan Andesit serta hasil eksplosif yaitu batuan piroklastik terdiri dari Lithic tuff, Crystal tuff dan Vitric Tuff
2. Keberadaan mikroporositas berupa primer hasil dari pembekuan magma dan sekunder yang merupakan hasil pelarutan batuan
3. Mikroporositas yang ada mempengaruhi hasil perhitungan saturasi air, terdapat hubungan yang baik antara nilai mikroporositas dan nilai saturasi air serta nilai kumulatif produksi

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya sejawat di Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi yang telah memberikan masukan berharga selama penulisan makalah ini serta kepada Manajemen Pertamina Hulu Energi Regional 2 Zone yang telah mengizinkan penggunaan data untuk penulisan makalah ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Aghli .G, Moussavi-Harami.R , Tokhmechi.B, 2020, Integration of sonic and resistivity conventional logs for identification of fracture parameters in the carbonate reservoirs (A case study, Carbonate Asmari Formation, Zagros Basin, SW Iran), Journal of Petroleum Science and Engineering 186 (2020) 106728, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106728>
2. Cantrell. D. E, Hagerty R.M 1999, Microporosity in Arab Formation Carbonates, Saudi Arabia, GeoArabia, Vol. 4, No. 2, 1999 , Gulf PetroLink, Bahrain, <https://doi.org/10.2113/geoarabia0402129>
3. Celeste de Ducilio Manhique.S.J, Ahmed Salim.A.M, Abdul Latiff.A.M, 2022, Microporosity Quantification and Flow Unit Prediction Using NeuralNetworks: A Case Study from Malaysia, Offshore Technology Conference Asia held in Kuala Lumpur, Malaysia, 22 - 25 March 2022, <http://dx.doi.org/10.4043/31621-MS>
4. Cid.H.E, Nunez. G.C, Manea.V.C, Vega.S, 2020, The role of microporosity on the permeability of volcanic-hosted geothermal reservoirs: A case study from Los Humeros, Mexico, *Geothermics* 90(2021):102020, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.102020>
5. Feng.Z, ,Huang.W, Feng.Z, Zhang.E, Liu.C, Yin.C, Dong.J ,2019 , Geophysical Exploration Technology of Complex Volcanic Rock Gas Reservoir, IPTC 13497, <https://doi.org/10.2523/IPTC-13497-MS>
6. Hammad T. Janjuhah, Josep Sanjuan, Mohamed K. Salah, 2019, An Overview of the Porosity classification in Carbonate Reservoirs and Their Challenges: An Example of Macro-Microporosity Classification from Offshore Miocene Carbonate in Central Luconia, Malaysia, <https://www.researchgate.net/publication/332909836>

7. He.H, Liu.C, Xie.L, Kong.C, He.J, Li.X, Ma.P, 2024, Fracture Characterization and Prediction in a Volcanic Reservoir: A Case Study of the Permian Jiamuhe Formation in the Jinlong 2 Oil Field, Junggar Basin, China, <https://doi.org/10.22078/jpst.2024.5044.1860>
8. Janjuhah.H.T, Alansari.A , Ghosh.D.P, Bashir.Y, 2018, New approach towards the classification of microporosity in Miocene carbonate rocks, Central Luconia, offshore Sarawak, Malaysia, Journal of Natural Gas Geoscience 3 (2018) 119e133, <https://doi.org/10.1016/j.jnggs.2018.05.001>
9. Jin.G, Ma.S,Antle .R , Al-Ofi. S.M, 2022, Reservoir Characterization for Isolated Porosity from Multi-FrequencyDielectric Measurements, IPTC-22424-MS, <https://doi.org/10.2523/IPTC-22424-MS>
10. Kieke E. M, Hartmann D.J, 1974, Detecting Microporosity To Improve Formation Evaluation , *J Pet Technol* 26 (10): 1080–1086. Paper Number: SPE-4531-PA , <https://doi.org/10.2118/4531-PA>
11. Liu. J , Guo.K , Zhang.S , Gao .X, Liu.J, Li.Q, 2024, Identification of Multi-Parameter Fluid in Igneous Rock Reservoir Logging—A Case Study of PL9-1 in Bohai Oilfield, Processes 2024, 12, 1537. <https://doi.org/10.3390/pr12071537>
12. Li.Z , Zhao.B , Gao.C , Wu.J , 2021, Water Saturation Calculation and Fracture Type identification of a Buried Hill Fractured Reservoir, GeoScienceWorld Lithosphere Volume 2021, Article ID 4615776, 9 pages <https://doi.org/10.2113/2021/4615776>
13. Maerz.S, 2019, Analyzing Pore Systems Through Comprehensive Digital Image Analysis (DIA), Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät Institut für Geowissenschaften der Universität Potsdam , <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>
14. Sadooni F. N, Al-Kuwari. H.A, Sakhaee-Pour. A, Mattar. A, 2023, Microporosity evolution and destruction in the Jurassic Arab D reservoir, Qatar, Carbonates and Evaporites (2023) 38:45 <https://doi.org/10.1007/s13146-023-00869-7>
15. Shi.J, Sun.G , Zhang.S , Guo.H , Zhang.S ,Du.S, 2017, Reservoir characteristics and control factors of Carboniferous volcanic gas reservoirs in the Dixi area of Junggar Basin, China, Journal of Natural Gas Geoscience 2 (2017) 43e55, <https://doi.org/10.1016/j.jnggs.2017.03.001>
16. Shi.X, Li.H, Zhang.J, Cheng.X, Zhang. W, Li.Q, 2025, Hydrocarbon Saturation Evaluation of Volcanic Reservoir Using MICP Experiments, Petroleum Migration and Accumulation Dinamycs and NMR Logging , SPWLA 66th Annual Logging Symposium, May 17-21, 2025, <https://doi.org/10.30632/SPWLA-2025-0046>
17. Sun W.T , Lou Y.S , Lenwoue A.R.K , Li Z.H , Zhu.L , Wu H.M, 2022, Classification and Evaluation of Volcanic Rock Reservoirs Based on the Constraints of Energy Storage Coefficient, Front. Earth Sci., 22 June 2022 Sec. Structural Geology and Tectonics Volume 10 – 2022, <https://doi.org/10.3389/feart.2022.914383>
18. Vidal .J ,Patrier.P , Beaufort.D, Maza.S, Rivera.G, Volpi. G,Morata.D 2022, Clay Minerals in the Deep Reservoir of the Cerro Pabellón Geothermal System (Northern Chile), Minerals **2022**, 12, 1244. <https://doi.org/10.3390/min12101244>
19. Wang. W, La.W, Fan .T , Xu.X, Liu.Y, Qixia. Lv, 2021, A Comparative Study on Microscopic Characteristics of Volcanic Reservoirs in the Carboniferous Kalagang and Haerjiawu Formations in the Santanghu Basin, China, Frontiers in Earth Science <https://doi.org/10.3389/feart.2021.735703>
20. Wang.Z, Zhang.T, Wang.M , Wu. F, Li.Y , Zhao.X, Wu.J, Li.S, Yu.D, Shi.Z, 2023, Integrated Reservoir Characterization And Effective Reservoir Identification By Advanced Logging Seires For ComplexVolcanic Gas Field-A Case Study From Songliao Basin, China, SPWLA 64th Annual Logging Symposium, June 10-14, 2023, <https://doi.org/10.30632/SPWLA-2023-0030>