

Studi Penentuan Zona Reservoir Hidrokarbon pada Lapangan 'X' Cekungan Sebuku Menggunakan Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Data Log

¹Harsano Jayadi, ²Syahdan Ali Imran, ³Widi Atmoko, ²Irianto Uno, ⁴Icha Untari Meidji

¹Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Tadulako

²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

³PT. Patra Nusa Data, Taman Tekno BSD Tangerang, Banten

⁴Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Gorontalo

*Email: harsanoj@gmail.com

Manuscript received: 24 Januari 2024; Received in revised form: 9 Maret 2024; Accepted: 10 Maret 2023

ABSTRACT

The research was conducted to determine the hydrocarbon reservoir zone in LIM-1 well, which was analyzed using quantitative and qualitative methods to determine the reservoir type involving several log data, including gamma ray (GR), neutron (NPHI), and density (RHOB). The quantitative analysis stage determines hydrocarbon content by the crossover of NPHI log data and RHOB logs data with six target zones. The quantitative analysis stage in this study uses Interactive Petrophysics (IP) software version 3.5 on well LIM-1, with target zone 1 only. The results obtained from qualitative and quantitative analysis at well LIM-1 show that there are three types of reservoirs in the study area from several target zones according to the reservoir content dominated by oil at a depth of 4947.5 ft - 4999.5 ft, 5883 ft - 6038 ft, water reservoirs at a depth of 4146.5 ft - 4975 ft, 4999.5 ft - 5883 ft and gas content at a depth of 6038 ft - 6340 ft..

Keywords: hydrocarbon, reservoir zone, qualitative, quantitative

ABSTRAK

Penelitian yang dilakukan untuk menentukan zona reservoir hidrokarbon di well LIM-1, yang dianalisis dengan menggunakan cara kuantitatif dan kualitatif untuk menentukan jenis reservoir yang melibatkan beberapa data log, antara lain *gamma ray* (GR), *neutron* (NPHI), dan densitas (RHOB). Tahap analisis dengan kuantitatif, yaitu penentuan kandungan hidrokarbon dengan melakukan *crossover* data log NPHI dan log RHOB dengan zona target sebanyak enam. Tahap analisis kuantitatif dalam penelitian ini menggunakan software *Interactive Petrophysics* (IP) versi 3.5 pada well LIM-1 juga dengan zona target 1 saja. Hasil penelitian yang diperoleh dari analisis kualitatif dan kuantitatif di well LIM-1 memperlihatkan bahwa terdapat tiga jenis reservoir di daerah penelitian dari beberapa zona target sesuai dengan kandungan reservoir didominasi oleh minyak pada kedalaman 4947,5 ft – 4999,5 ft, 5883 ft - 6038 ft, reservoir air pada kedalaman 4146,5 ft – 4975 ft, 4999,5 ft – 5883 ft dan kandungan gas pada kedalaman 6038 ft - 6340 ft.

Kata Kunci : hidrokarbon, zona reservoir, kualitatif, kuantitatif

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia dan dunia industri akan sumberdaya energi, khususnya minyak dan gas bumi yang terus meningkat, hal ini terlihat adanya kekurangan dalam permintaan konsumen yang belum terpenuhi. Meskipun minyak dan gas bumi merupakan salah satu energi yang tidak dapat diperbaharui, namun sampai saat ini penggunaannya masih menjadi pilihan utama bagi masyarakat. Oleh karena itu, sangat diperlukan suatu upaya dalam mencari lokasi baru untuk mendapatkan potensi sumber daya minyak dan gas bumi. Beberapa metode yang sering digunakan dalam pencarian eksplorasi minyak dan gas bumi, seperti metode inversi, analisis petrofisika, dan bahkan sampai melakukan studi karakterisasi reservoirnya [1], [2], [3], [4].

Dalam melakukan suatu pekerjaan eksplorasi, survei geologi merupakan cara awal yang digunakan, dimana dalam survei tersebut dilakukan suatu analisis mengenai struktur geologi suatu daerah yang nantinya akan diinterpretasi suatu wilayah yang menjadi potensi adanya suatu hidrokarbon. Namun cara tersebut kurang efektif dan belum mampu secara optimal dalam menentukan adanya suatu reservoir, khususnya suatu batuan yang menjadi unsur utama yang menjadi wadah sebagai batuan reservoirnya [5], [6], [7]. Oleh karena itu sangat perlu juga melakukan suatu analisis sifat fisis batuan yang ada di bawah permukaan [8].

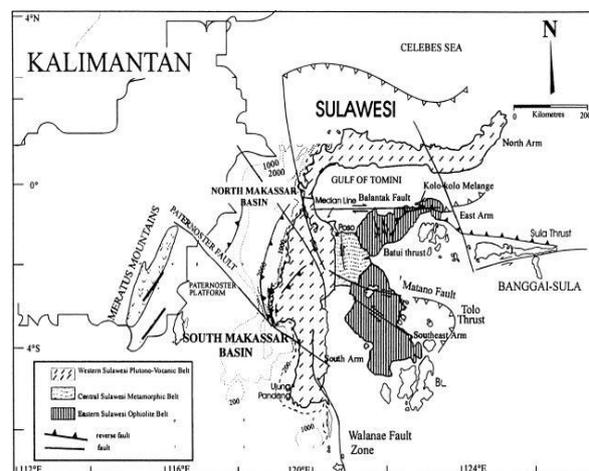
Salah satu analisis yang digunakan dalam melakukan karakterisasi dari reservoir adalah analisis petrofisika. Analisis ini melakukan suatu upaya dengan membandingkan kontras impedansi sifat dari reservoir yang didapatkan dari hasil kegiatan *well logging* di suatu sumur sehingga nantinya akan mendapatkan bagaimana sifat fisik dari batuan dan jenis fluidanya [9].

2. TEORI DAN METODE

2.1. Geologi Regional

Model geologi regional daerah penelitian berupa adanya Sesar Adang-Paternoster memisahkan Cekungan Makasar Selatan dari Cekungan Makasar Utara. Pada bagian timurnya, lengan selatan Sulawesi membatasi Cekungan Makasar Selatan. Sejarah geologi cekungan ini dipengaruhi oleh dua aktifitas lempeng tektonik utama, yaitu subduksi Lempeng India terhadap Lempeng Eurasia dan subduksi Lempeng Australia di bawah Lempeng Eurasia [16], [17], [18], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

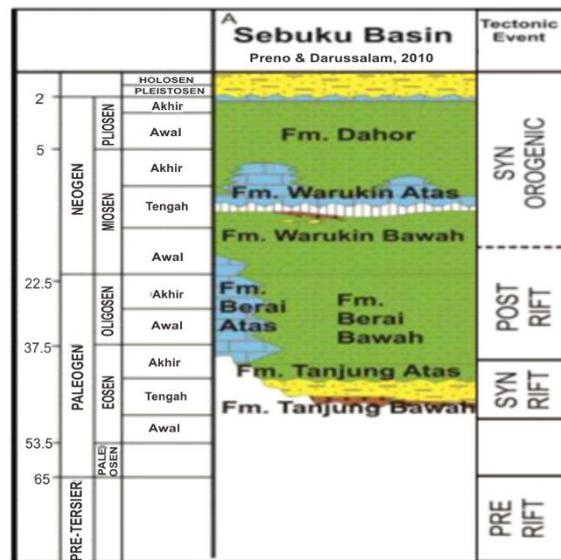
Pada zaman Kapur, terjadi akresi mikrokontinen Gondwana seperti Sumba, Paternoster, Pompangeo, dan Mangkalihat di ujung tenggara lempeng kontinen Sundaland, di bagian barat Kalimantan. Disebutkan bahwa pembukaan cekungan Makasar disebabkan oleh dispersi dari bagian tenggara Paparan Sunda, tetapi tidak ada yang tahu bagaimana pembentukannya terjadi, apakah itu sebagai rift basin dengan transformasi sesar-sesar atau karena mekanis [19].



Gambar 1. Peta Struktur Selat Makassar, Kalimantan Tenggara, dan Sulawesi Barat [20], [21]

Dari model stratigrafi regional terdapat suatu Formasi dan litologi Cekungan Makasar Selatan sangat mirip dengan stratigrafi regional Cekungan Sebuku. Stratigrafi Cekungan Sebuku, serta tatanannya akan digunakan sebagai referensi utama dalam penelitian ini. Sebelum Kala Eosen Tengah, bagian selatan Kalimantan dan bagian barat Sulawesi berhimpitan untuk membentuk Tanjung Bawah. Kemudian, pada Eosen Tengah ini berawal terjadi proses rifting, atau pecahnya dua wilayah. Formasi Tanjung Bawah terendapkan pada tahap awal proses rifting ini [22]. Formasi ini terdiri dari endapan unik syn-rift yang dominan oleh fasies dataran aluvial yang kompleks. Selain itu, fasies kompleks kipas aluvial ditemukan di sekitar sesar-sesar turun yang membentuk graben. Pola ini sejajar dengan pola struktur rift utama, yaitu Sesar Taka-Tulu dengan arah Timur Laut - Barat Daya dan Sesar Adang Paternosfer dengan arah Barat laut – Tenggara.

Struktur-struktur *rift* masih sangat mempengaruhi distribusi dan batas penyebaran platform karbonat ini, sehingga diperkirakan struktur tersebut masih aktif hingga akhir Eosen. Pada kala Oligosen, aktifitas pengendapan tektonik berhenti pada saat formasi berai [23], dan pengendapan secara tektonostratigrafi memasuki tahap post-rift. Pada masa Chattian-Aquitania, yang termasuk dalam periode kedua belas rendah eustatik dan tiga belas rendah eustatik [22], [23], endapan karbonat pada platform Paternosfer mengalami erosi dan terendapkan kembali sebagai endapan debris di zona batial pada Pangkat Graben. Ini telah terbukti sebagai reservoir hidrokarbon yang ekonomis, selengkapnya ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Model Stratigrafi dari Cekungan Sebuku

2.2. Metode Well Logging

Salah satu model analisis petrofisika adalah *well log*, yang digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan. Selain digunakan untuk mengukur litologi, *well log* diidentifikasi dengan log gamma ray, densitas, dan neutron. Log resistivitas digunakan untuk mengukur saturasi air, dan log densitas digunakan untuk menghitung porositas [10]

Metode ini dapat membantu mengidentifikasi litologi di bawah permukaan batuan dan karakteristiknya [11]. Untuk menentukan lokasi zona reservoir hidrokarbon, seseorang harus menentukan beberapa parameter penting yang ada di sana. Permeabilitas, saturasi air, porositas, dan volume batuan adalah beberapa parameter yang digunakan untuk memvalidasi isi hidrokarbon pada suatu formasi sasaran [12]. Nilai kotor (gross) litologi batuan digunakan untuk menentukan nilai bersih (net pay) yang dapat menunjukkan besar ketebalan reservoir [13] dari formasi pada lapangan yang hendak ditemukan.

Sifat fisis batuan yang digunakan untuk menggambarkan litologi bawah permukaan juga dapat menunjukkan sifat dan karakteristik gelombang penalaran yang ada

di batuan bawah permukaan. Sifat-sifat fisis ini termasuk penjaran gelombang P (V_p), penjaran gelombang S (V_s), dan densitas (ρ) [14], [15]. Sifat-sifat ini terkait dengan sifat batuan, seperti nilai porositas, permeabilitas, dan saturasi air yang mengisi pori-pori batuan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kami menggunakan data sifat fisis dari batuan untuk dapat mengetahui bagaimana litologi dan karakteristik dari reservoir yang ada dalam suatu formasi.

Metode *well logging* adalah teknik geofisika yang digunakan untuk mengumpulkan data geologi batubara bawah permukaan dengan cepat dan tepat. Meskipun biayanya mahal, metode ini masih menjadi pilihan utama perusahaan untuk eksplorasi karena menghasilkan tingkat akurasi data yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode lain. Metode pengumpulan data kontinu dari pengukuran yang dilakukan pada satu lubang bor digunakan untuk menyelidiki variasi dalam berbagai sifat fisis batuan yang berasal dari pengeboran lubang bor [24].

Beberapa macam jenis logging, antara lain log *Gamma Ray*, Log Densitas dan Log *Neutron*. Untuk log *gamma ray* merupakan metode yang digunakan untuk mengukur radiasi sinar gamma yang dihasilkan oleh unsur-unsur radioaktif yang terdapat dalam lapisan batuan di sepanjang lubang bor termasuk *uranium*, *thorium*, *potassium*, dan radium. Unsur radioaktif umumnya terdapat dalam shale, dan sedikit sekali terdapat dalam batuan liat, pasir, *dolomite*, *coal*, *gypsum*, dan batuan lainnya. Hasilnya nanti, batuan shale akan memberikan tanggapan terhadap log *gamma ray* tersebut secara signifikan dan cepat dibandingkan dengan respon dari jenis litologi batuan yang lain [25].

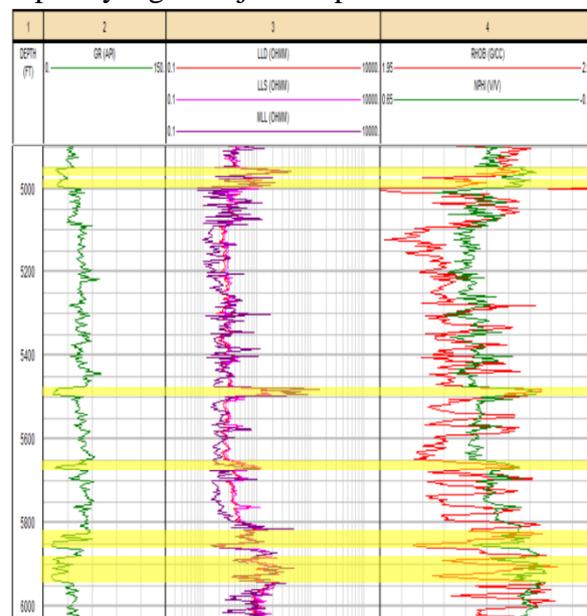
Prinsip kerja density log adalah sebagai berikut: sinar gamma dipancarkan dari sumber radiasi sinar gamma yang terletak pada dinding lubang bor. Saat sinar gamma

menembus batuan, elektron batuan berinteraksi dengan sinar gamma, yang menyebabkan sebagian dari energi sinar gamma hilang dan sebagian lagi dipantulkan kembali. Intensitas sinar gamma yang ditangkap oleh detektor yang terletak di atas sumber radiasi [26].

Log neutron merupakan log porositas yang mengukur konsentrasi hidrogen dalam formasi [27]. Prinsip log tersebut mengukur kandungan air formasi. Kegunaan log neutron menurut Rider [28] adalah untuk mengukur porositas dan sebagai pembeda antara gas dan minyak.

2.3. Data dan Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, kami menggunakan beberapa data log sumur yang berekstensi *las yang berguna dalam menentukan zona reservoir hidrokarbonnya. Log-log tersebut antara lain, log *gamma ray* (GR), log densitas (RHOB), dan log *neutron* (RHOB) yang diaplikasikan terhadap satu sumur pemboran, yaitu sumur Well LIM-1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sumur LIM-1 yang Dianalisis Secara Kualitatif dengan Enam Zona Target yang Ditandai dengan *Highlight* Warna Kuning

Analisa data sumur dilakukan dengan dua cara, yaitu secara kualitatif dan kuantitatif. Untuk cara kualitatif, analisa dalam penentuan zona prospek hidrokarbon yang dilakukan dalam sumur. Untuk menentukan zona reservoir dengan memperhatikan *crossover* pada NPHI dan RHOB. Jika kurva GR bernilai kecil, mempunyai resistivitas tinggi dibandingkan dengan *cut off* yang telah di tentukan kemudian pada kurva NPHI dan RHOB cenderung memiliki bentuk pipih dan memanjang maka dapat diasumsikan bahwa reservoir tersebut merupakan minyak.

Salah satu cara untuk membedakan *shale* dari *non-shale* adalah dengan memasang *cut off* pada Gamma Ray. Jika kurva GR bernilai kecil memiliki resistivitas yang tinggi dibandingkan dengan *cut-off* pada GR tersebut, kurva NPHI dan RHOB cenderung memiliki bentuk yang melebar dan cembung. Namun, jika GR bernilai kecil memiliki resistivitas yang rendah dibandingkan dengan *cut-off* yang telah ditentukan, maka zona reservoir tersebut mungkin mengandung air [11].

Terdapat enam zona target yang berasal dari log sumur untuk dianalisis. Zona-zona tersebut berada pada kedalaman 4955 ft – 4976 ft, 4978 ft – 4996 ft, 5476 – 5493 ft, 5665 ft – 5671 ft, 5846 ft – 5861 ft dan 5887 ft – 5940 ft.

Sedangkan untuk analisis secara kuantitatif, kami menggunakan satu zona reservoir untuk dijadikan target di Well LIM-1 dengan kedalaman 4978 – 4996 ft, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Batas Zona Reservoir pada Well LIM-1 dengan Zona Target Sebanyak 1 yang Ditandai dengan *Highlight* Warna Kuning

Dalam analisis ini, kami menggunakan *software Interactive Petrophysic (IP) 3.5* di well LIM-1 untuk menentukan zona prospek adanya hidrokarbon. Dengan menentukan parameter *cut off* pada GR minimal dan GR maximal dapat di tarik garis warna merah dan hijau sesuai dengan bentuk kurva nya untuk membedakan antara *sand* dan *shale* dan *resistivity* pada zona hidrokarbon.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kualitatif

Zona hidrokarbon ditandai dengan karakter gamma ray API (*American Petroleum Institute*) yang bernilai kecil dan resistivitas tinggi. Untuk menentukan zona reservoir dengan memperhatikan *crossover* pada NPHI dan RHOB. Jika kurva GR bernilai kecil, mempunyai resistivitas tinggi dibandingkan dengan *cut off* yang telah di tentukan kemudian pada kurva NPHI dan RHOB cenderung memiliki bentuk pipih dan memanjang maka dapat diasumsikan bahwa

reservoir tersebut merupakan minyak. Memasangkan *cut off* pada *gamma ray* adalah cara untuk membedakan antara *shale* dan *non shale*. Jika kurva GR bernilai kecil juga resistivitas yang tinggi dibandingkan dengan *cut off* pada GR tersebut, kemudian pada kurva NPHI dan RHOB cenderung memiliki bentuk melebar dan cembung maka dapat di asumsikan zona tersebut merupakan reservoir yang mengandung gas. Dan jika GR bernilai kecil kemudian memiliki resistivitas rendah dibandingkan dengan *cut off* yang telah ditentukan maka zona reservoir tersebut berisi air.

Berdasarkan kurva GR data log menunjukkan nilai minimum pada kurva yang paling kiri dan menuju nilai minimum. Ditarik garis *cut off* pada GR *clean* GAPI dan GR *clay* GAPI, sebagai contoh nilai *gamma ray* bernilai kecil ialah dominan batuan batugamping. Hal tersebut merupakan zona prospek hidrokarbon yang memiliki litologi berupa batugamping. Maka didapatkan nilai *cut off gamma ray* = 12, Paling tipis pada kedalaman 5665 ft – 5671 ft dan paling tebal pada kedalaman 5887 – 5940 ft.

Pada kedalaman 4955 ft – 4976 ft, memiliki nilai resistivitas sebesar 58 OHMM dengan *cross over* pada kedalaman 4955 ft – 4976 ft, dengan *cut off* pada *resistivity clay* sebesar 36,20 OHMM dan *resistivity clean* sebesar 1,94 OHMM. Di kedalaman 4978 ft – 4996 ft memiliki nilai resistivitas sebesar 34,1 OHMM dengan *cross over* pada kedalaman 4978 ft – 4996 ft, dengan *cut off* pada *resistivity clay* sebesar 27 OHMM dan *resistivity clean* sebesar 1,94 OHMM. Pada kedalaman 5665 ft – 5671 ft mempunyai nilai resistivitas sebesar 33 OHMM dengan *cross over* pada kedalaman 5665 ft – 5671 ft, dengan *cut off* pada *resistivity clay* sebesar 20,30 OHMM dan *resistivity clean* sebesar 1,98 OHMM. Pada kedalaman 5476 ft – 5493 ft mempunyai nilai resistivitas sebesar 19,2 OHMM dengan *cross over* pada kedalaman 5476 ft – 5493 ft, dengan *cut off* pada

resistivity clay sebesar 16,30 OHMM dan *resistivity clean* sebesar 1,98 OHMM. Di kedalaman 5846 ft – 5861 ft memiliki nilai resistivitas sebesar 28,1 OHMM dengan *cross over* pada kedalaman 5846 ft – 5861 ft, dengan *cut off* pada *resistivity clay* sebesar 19,60 OHMM dan *resistivity clean* sebesar 1,98 OHMM. Pada kedalaman 5887 ft – 5940 ft, memiliki nilai resistivitas sebesar 70,2 OHMM dengan *cross over* pada kedalaman 5887 ft – 5940 ft, dengan *cut off* pada *resistivity clay* sebesar 32,50 OHMM dan *resistivity clean* sebesar 1,98 OHMM.

Oleh karena itu, dapat dirumuskan bahwa di zona penelitian well LIM-1 dengan enam zona target diperoleh hasil penelitian sebagaimana ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Reservoir Zona Target di Well LIM-1

Depth (ft)	Cut-Off Clay	Zona Prospek Reservoir
4955 – 4976	36.20	Gas
4978 – 4996	27	Gas
5476 – 5493	16.30	Water
5665 – 5671	33	Water
5846 – 5861	19.60	Gas
5887 – 5940	32.50	Gas

3.2 Analisis Kuantitatif

Dengan menentukan parameter *cut off* pada GR minimal dan GR maksimal dapat di tarik garis warna merah dan hijau sesuai dengan bentuk kurva nya untuk membedakan antara *sand* dan *shale* dan *resistivity* pada zona hidrokarbon.

Dapat ditunjukkan bahwa titik-titik pada NPHI/RHOB Xplot dominan berada sejajar pada garis SS (*Sandstones*) dan LS (*Limestones*) maka reservoir tersebut berisi

oil, jika titik-titik pada NPHI/RHOB berada pada atas garis SS atau melampaui batas maka reservoir tersebut berisi gas. Dan jika titik-titik pada NPHI/RHOB dominan berada pada garis bawah DOL (*Dolomitse*) maka reservoir tersebut berisi *coal* atau batubara. Jika *water* titik-titik pada NPHI/RHOB dominan berada di tengah sekitar garis SS, LS dan DOL (Gambar 5 dan 6).

4. KESIMPULAN

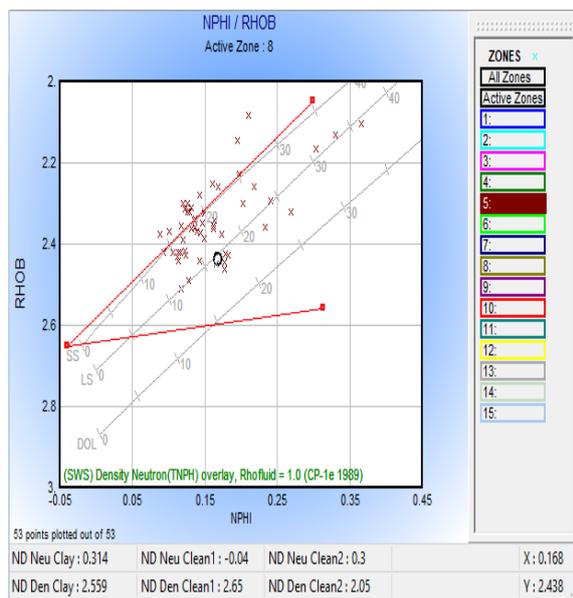
Hasil analisis petrofisika pada well LIM-1 adalah adanya jenis reservoir air, minyak dan gas pada masing-masing kedalaman dimana pada kedalaman 4146,5 ft – 4975 ft mengandung air, kedalaman 4947,5 ft – 4999,5 ft mengandung minyak, kedalaman 4999,5 ft – 5883 ft mengandung air, kedalaman 5883 ft - 6038 ft mengandung minyak, dan kedalaman 6038 ft - 6340 ft mengandung gas. Hal ini dikarenakan pada kedalaman yang lebih dalam lagi suhu akan menjadi lebih tinggi sehingga gas akan mengalami dekomposisi lebih lanjut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

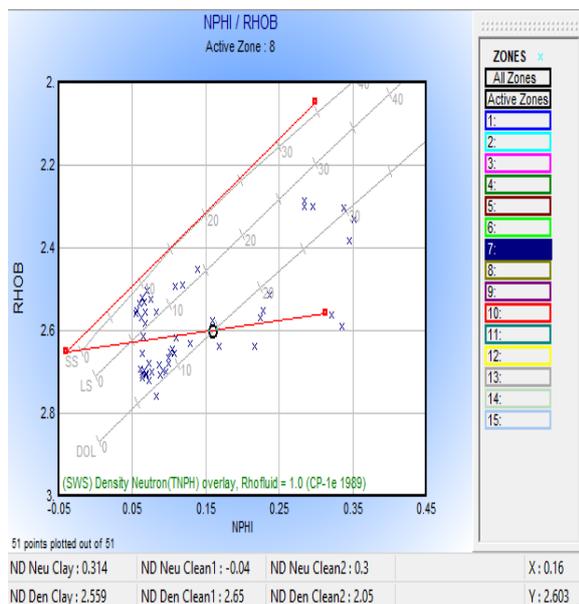
Terima kasih kepada pihak Pusdatin yang telah mengizinkan peneliti untuk menggunakan data dan Patra Nusa Data sebagai tempat pengolah data awal. Pihak Laboratorium Geofisika sebagai tempat pengolahan data lanjut sampai pembuatan laporan dan draft artikel.

6. REFERENSI

- [1] M. R. Harun, L. A. Sandria, A. S. Ilhami, A. Sukmatiawan, dan M. Razi, "Sandstone Reservoir Distribution of Cibulakan Formation Using Seismic Inversion Method: Extended Elastic Impedance (EEI), in Cemara Field, North West Java Basin," 2013, Diakses: 21 Januari 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://archives.datapages.com/data/ipa_pdf/084/084001/pdfs/IPA13-G-075.pdf
- [2] M. Abduh, H. Jayadi, W. Atmoko, dan I. U. Meidji, "Analisis Petrofisika Untuk Penentuan Zona Prospek Reservoir Hidrokarbon di Lapangan 'X' Cekungan Banggai," vol. 5.
- [3] H. Jayadi, "Identifikasi Persebaran Litologi Reservoir Batupasir Menggunakan Analisis Seismik Inversi Impedansi Elastik di Lapangan Najlao



Gambar 5. NPHI/RHOB Xplot untuk Reservoir Hidrokarbon Berisi Gas



Gambar 6. NPHI/RHOB Xplot untuk Reservoir Hidrokarbon Berisi Air

- Formasi Cibulakan Cekungan Jawa Barat Utara,” *JURNAL FISIKA (Fisika Sains dan Aplikasinya)*, vol. 1, no. 2503 5274, hlm. 99–106, 2016.
- [4] M. F. H. Kusuma, P. Lepong, dan E. Arifullah, “Studi Karakteristik Reservoir Berdasarkan Data Petrofisika (Studi Kasus Lapangan ‘X’ Lemigas Cekungan Sumatera Selatan),” *GEOSAINS KUTAI BASIN*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, Feb 2023, doi: 10.30872/geofisunmul.v6i1.1044.
- [5] G. E. Archie, “Introduction to Petrophysics of Reservoir Rocks,” hlm. 19, 1950.
- [6] M. I. Nurwidyanto, I. Noviyanti, dan S. Widodo, “Estimasi Hubungan Porositas dan Permeabilitas Pada Batupasir (Study Kasus Formasi Kerek, Ledok, Selorejo),” *BERKALA FISIKA*, vol. 8, no. 3, Art. no. 3, Jul 2005.
- [7] I. U. Meidji, D. G. E. Setiawan, A. P. Sari, W. Atmoko, dan H. Jayadi, “Tingkat Karakteristik Batuan Induk Sebagai Sumber Kandungan Minyak dan Gas Bumi : Studi Kasus Cekungan Lariang-Karama-Sulawesi Barat,” vol. 1, no. 2, 2023.
- [8] D. Tiab dan E. C. Donaldson, *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*. Gulf Professional Publishing, 2015.
- [9] T. Darling, *Well Logging and Formation Evaluation*. Elsevier, 2005.
- [10] M. I. Maulana, W. Utama, dan A. Hilyah, “Analisis Petrofisika dan Penentuan Zona Potensi Hidrokarbon Lapangan ‘Kaprasida’ Formasi Baturaja Cekungan Sumatera Selatan,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Feb 2017, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.18238.
- [11] A. Harsono, *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log, Schlumberger, Edisi-8*. Jakarta, 1997.
- [12] J. Chen dan T. A. Dickens, “Effects of uncertainty in rock-physics models on reservoir parameter estimation using seismic amplitude variation with angle and controlled-source electromagnetics data,” *Geophysical Prospecting*, hlm. 14, 2008.
- [13] P. E. Potter, J. B. Maynard, dan W. A. Pryor, *Sedimentology of Shale: Study Guide and Reference Source*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [14] E. V. Zanetta, Handoyo, Fatkhan, A. Laesanpura, dan H. Hutami Yogaputri, “Analisis Parameter Elastisitas untuk Interpretasi Litologi dan Fluida Pori Reservoir Batupasir Formasi Intra Gumai Cekungan Sumatera Selatan,” *Jurnal Geofisika*, vol. 19, no. 02, hlm. 45–50, 2021.
- [15] N. Novia, Handoyo, Fatkhan, A. Laesanpura, dan H. Putri Yoga, “Analisis Hubungan antara Nilai Critical Porosity dan Pore Space Stiffness Terhadap Kualitas Reservoir Batupasir Lapangan ‘N’ Cekungan Sumatera Selatan,” *Jurnal Geofisika*, vol. 19, no. 02, hlm. 51–56, 2021.
- [16] R. Hall, “Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations,” *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 20, hlm. 353–431, 2002.
- [17] J. A. Katili, “Large transcurrent faults in Southeast Asia with special reference to Indonesia,” *Geol Rundsch*, vol. 59, no. 2, hlm. 581–600, Feb 1970, doi: 10.1007/BF01823809.
- [18] S. J. Calvert dan R. Hall, “Cenozoic evolution of the Lariang and Karama regions, North Makassar Basin, western Sulawesi, Indonesia,” *PG*, vol. 13, no. 4, hlm. 353–368, Nov 2007, doi: 10.1144/1354-079306-757.
- [19] A. H. Satyana, “Re-Evaluation of the Sedimentology and Evolution of the Kais Carbonate Platform, Salawati Basin, Eastern Indonesia: Exploration Significance,” *Annual Convention*

- Proceedings, Indonesian Petroleum Association*, hlm. 1–22, 2003.
- [20] E. Biantoro, B. P. Muritno, dan J. M. Mamuaya, “Inversion faults as the major structural control in the northern part of the Kutai Basin, East Kalimantan,” vol. 1, hlm. 45–68, 1992.
- [21] T. O. Simanjuntak, “Neogene plate convergence in Eastern Sulawesi,” *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, no. 25, hlm. 2–15, 1993.
- [22] H. A. Kahfi dan J. Setiawan, “Geologi dan Estimasi Perhitungan Cadangan Gas Lapisan ”X”, Formasi Berai di Lapangan HR, Cekungan Makasar Selatan Berdasarkan Data Log Sumur dan Seismik,” *Jurnal Ilmiah Geologi Pangea*, vol. 3, no. 1, hlm. 101–108, 2016.
- [23] J. Kupecz, I. Sayers, P. Tognini, A. Hilman, C. Tanos, dan D. Ariyono, “New Insights into the Tectono-Stratigraphic Evolution of the South Makassar Basin,” *Proceedings, Indonesian Petroleum Association*, 2013
- [24] A. P. Setiahadwibowo, “Analisis Karakteristik Batubara Berdasarkan Rekaman Well Logging di Daerah Kabupaten Katingan Kalimantan Tengah,” *KURVATEK*, vol. 1, no. 2, hlm. 81–87, 2016.
- [25] S. S. Siregar dan I. Sota, “Estimasi Sumberdaya Batubara Berdasarkan Data Well Logging Dengan Metode Cross Section di PT. Telen Orbit Prima Desa Buhut Kab. Kapuas Kalimantan Tengah”.
- [26] Didi Darmadi, “Analisis Data Well Logging Untuk Rekonstruksi Lingkungan Pengendapan Batubara Daerah Pangandonan, Sumatera Selatan.” Diakses: 6 Maret 2024.
- [27] G. B. Asquith, D. Krygowski, dan C. R. Gibson, *Basic well log analysis*, vol. 16. American Association of Petroleum Geologists Tulsa, 2004.
- [28] M. Rider, *The Geological Interpretation of Well Logs Second Edition*. Rider-French Consulting Ltd. Scotland, 2002.