

## **IDENTIFIKASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN BATUAN KARBONAT CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA MENGGUNAKAN ANALISIS ELEKTROFASIES DATA LOG GAMMA-RAY**

**Rahmat Catur Wibowo, Varenza Novita Yandi, Ordas Dewanto, Syamsurijal Rasimeng  
Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung**

e-mail: rahmat.caturwibowo@eng.unila.ac.id

**Abstrak.** Dalam mengembangkan lapangan produksi minyak dan gas, perlu dilakukan studi lingkungan pengendapan untuk dapat meningkatkan kualitas hasil produksi. Cekungan Jawa Timur Utara sebagian besar merupakan cekungan lepas pantai yang menghasilkan minyak dan gas dengan shale Formasi Ngimbang sebagai batuan induk yang menggenerasikan hidrokarbon ke reservoir berupa batuan karbonat (Formasi Kujung). Identifikasi lingkungan pengendapan yang dilakukan dengan menganalisa pola kurva log Gamma-Ray (GR) disebut sebagai analisis elektrofases. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa lingkungan pengendapan batuan reservoir karbonat berdasarkan pola yang terbentuk pada log GR. Pola log GR memiliki karakter khusus yang berhubungan dengan pola pengendapan batuan karbonat dan kemudian dihubungkan dengan data biostratigrafi sebagai justifikasi. Dengan menggunakan 3 sumur, didapati adanya pola elektrofases berupa cylindrical dan funnel yang mengindikasikan tubuh karbonat yang terbentuk berupa keep-up carbonate dan catch-up carbonate yang terendapkan pada lingkungan laut dangkal. Adanya indikator organisme lingkungan laut dangkal seperti microgastropods, byozoa, dan fragmen cangkang pada data biostratigrafi, mendukung interpretasi elektrofases berupa lingkungan pengendapan karbonat daerah penelitian terendapkan di lingkungan laut dangkal.

Kata Kunci: log GR; elektro-fases; karbonat; lingkungan pengendapan

**Abstract.** In developing oil and gas production fields, it is necessary to study the depositional environment to improve production quality. The North East Java Basin is mostly an offshore basin that produces oil and gas with the Ngimbang Formation shale as the source rock that generates hydrocarbons to a reservoir in the form of carbonate rock (Kujung Formation). The identification of the depositional environment by analyzing the pattern of the Gamma-Ray (GR) curve is known as electrofacies analysis. This study aims to analyze the depositional environment of carbonate reservoir rocks based on the pattern formed in the GR log. The GR log pattern has a special character associated with the depositional pattern of carbonate rocks and is then linked to biostratigraphic data as a justification. Using 3 wells, it was found that there were electrofacies patterns in the form of cylindrical and funnel which indicated that the carbonate bodies formed were in the form of keep-up carbonate and catch-up carbonate which were deposited in a shallow marine environment. The presence of indicators of shallow marine environmental organisms such as microgastropods, byozoa, and shell fragments in biostratigraphic data supports the interpretation of electrofacies in the form of carbonate depositional in the study area deposited in shallow marine environments.

Keywords: log GR; electro-facies; carbonate; depositional environment

### **PENDAHULUAN**

Permintaan akan pemenuhan migas sebagai sumber bahan bakar terus meningkat namun terjadi penurunan produksi migas pada tahun 2015-2019. Ditambah belum ditemukannya cadangan besar untuk menggantikan cadangan yang terus diproduksi (Suharyati dkk., 2019). Untuk itu perlu dilakukan

penelitian untuk mengembangkan lapangan-lapangan yang telah berproduksi. Identifikasi lingkungan pengendapan penting dilakukan sebagai dasar dalam pengembangan lapangan produksi migas (Ryka dkk., 2020).

Cekungan Jawa Timur Utara merupakan cekungan migas yang sebagian besar lapangan migasnya terletak

di lepas pantai dan batuan reservoir yang ada berupa karbonat (Mudjiono dan Pireno, 2002). Kehadiran shale pada cekungan ini menjadikannya sebagai source rock dan mengenerasikan hidrokarbon ke reservoir karbonat.

Pada data log gamma ray (GR), keberadaan shale dan karbonat akan menghasilkan suatu pola tertentu yang dapat mengindikasikan lingkungan pengendapan. Analisis ini disebut dengan analisis elektrofases (Soleimani dkk., 2020).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan jenis batuan karbonat yang terbentuk berdasarkan analisis elektrofases dan menentukan lingkungan pengendapan karbonat berdasarkan analisis elektrofases.

### **GEOLOGI REGIONAL**

Daerah penelitian berada pada Cekungan Jawa Timur Utara yang berumur tersies yang dibatasi oleh Busur Karimunjawa di bagian barat, Cekungan Lombok di bagian timur, Busur Vulkanik di bagian selatan dan Tinggian Paternosfer pada bagian utara yang memisahkannya dengan Selat Makassar (Zaputlyeva dkk., 2019). Gambar 1 menunjukkan letak lokasi Cekungan Jawa Timur Utara.

Struktur utama dari cekungan ini adalah sesar sinistral. Adanya rangkaian tektonik yang bersifat kompresional yang diikuti oleh tektonik ekstensional membentuk berbagai sesar yang berarah baratdaya-timurlaut. Fase inversi terjadi sehingga sesar-sesar tua berubah arah menjadi relatif barat-timur. Sesar-sesar ini mengakibatkan lipatan en-echelon dan membentuk flower structure (Kusuma dkk., 2019).



Gambar 1. Peta lokasi Cekungan Jawa Timur Utara (Smyth dkk., 2005)

### **A. Stratigrafi**

Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara memiliki perbedaan penamaan pada formasi penyusunnya. (Sribudiyani dkk., 2003) membagi formasi penyusun Cekungan Jawa Timur Utara sebagai berikut.

#### **a) Batuan Dasar Pra Tersier**

Batuan dasar atau basement terdiri dari batuan beku intrusif dan ekstrusif yang diperkirakan berumur Kapur.

#### **b) Ngimbang**

Formasi ini berumur Eosen Tengah ditandai dengan sedimen klastik yang terdiri dari dominan batuan klastik (serpih dan batupasir) dan batugamping. Berdasarkan fosil foram besar dan kecil umur satuan ini adalah Oligosen Awal (Tc-d) dan diendapkan pada lingkungan transisi.

#### **c) Kujung**

Formasi Kujung tersusun oleh batulempung gampingan, batu gamping bioklastik dan batupasir terutama di bagian bawah, serta adanya napal. Formasi ini diendapkan lingkungan paparan tengah hingga paparan luar.

#### **d) Prupuh**

Formasi ini disusun oleh perselingan antara batugamping kapur yang berwarna putih kotor, batugamping bioklastik. Formasi Prupuh diendapkan pada lingkungan neritik luar pada laut terbuka.

#### **e) Tuban**

Formasi Tuban terdiri atas perlapisan batulempung dengan sisipan batugamping. Kandungan fosil Globigerina primodius, Globorotalia opimanana, Globigerina tripartita dissimilis, dan Globigerinoides altiapertura yang menunjukkan bahwa umur Miosen Awal - Tengah dan lingkungan laut dalam.

#### **f) Tawun**

Formasi ini tersusun oleh perselingan batulempung pasiran, batupasir, dan batugamping yang kaya foraminifera golongan orbitoid (Lepidocyclina, Cycloclypeus). Formasi Tawun diendapkan pada Awal hingga Miosen Tengah pada lingkungan paparan yang agak dalam (outer shelf) dari suatu laut terbuka.

#### **g) Ngrayong**

Bagian bawah yang tersusun oleh batugamping orbitoid (Cycloclypeus) dan batulempung sedangkan bagian atas tersusun oleh batupasir dengan sisipan batugamping orbitoid.

#### **h) Wonocolo**

Formasi Wonocolo tersusun dari batugamping kaya akan fosil, foraminifera dan fragment shell pada bagian atas dengan sisipan batulanau hingga batupasir sangat halus pada bagian bawah. Formasi Wonocolo diendapkan pada lingkungan laut terbuka secara transgresif pada zona neritik luar – batial atas.

i) Lidah

Formasi ini tersusun oleh batulempung yang berwarna kebiruan dan napal berlapis yang diselingi oleh batupasir dan lensa-lensa fossiliferous grainstone/rudstone (coquina). Umur formasi ini Pliosen Atas – Pleistosen Bawah, diendapkan di lingkungan laut tertutup, dan berangsur-angsur menjadi semakin dangkal.

j) Paciran

Formasi Paciran tersusun oleh batugamping terumbu yang lapuk dan membentuk permukaan yang khas akibat pelarutan (karren surface).

## B. Batuan Karbonat

Batuan karbonat adalah batuan yang tersusun oleh ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Batuan karbonat dikatakan sebagai batugamping apabila susunannya didominasi oleh kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) lebih dari 90% dan dikatakan sebagai dolomit apabila kandungan dolomit lebih dari 90% (Kargarpour, 2020). Dalam pembentukannya, sebagian besar batuan karbonat (lebih dari 50%) terbentuk pada laut dangkal sebab organisme penghasil karbonat memerlukan fotosintetik sehingga perlu mendapatkan cahaya matahari yang cukup untuk menembus air yang dalam (Satyana & Djumiati, 2003).

Laju pertumbuhan karbonat bergantung pada kedalaman baik kedalaman muka air laut maupun kedalaman ruang akomodasi. Catuneanu dkk. (2011) membagi beberapa variasi respon pertumbuhan karbonat akibat perubahan muka air laut.

## C. Elektrofases Data Well Logging

Log Gamma-Ray (GR) adalah log yang mengukur radiasi sinar gamma yang dihasilkan oleh unsur-unsur radioaktif yang berada dalam lapisan batuan di sepanjang lubang bor. Unsur radioaktif yang terdapat dalam lapisan batuan tersebut di antaranya Uranium, Thorium, Potasium, Radium (Wibowo dkk., 2020).

Unsur radioaktif umumnya berada dalam shale dan sedikit sekali di dalam sandstone, limestone, dolomite, batubara, gypsum. Oleh karena itu, shale akan memberikan respon GR yang tinggi. Dengan demikian besaran log GR yang ada dalam rekaman merupakan jumlah total dari radiasi yang diperoleh dari semua unsur radioaktif yang terdapat pada batuan (Davis, 2018).

Menurut Al-Mudhafar (2020), pola-pola log menunjukkan energi pengendapan yang berubah yakni berkisar dari energi tingkat tinggi sampai rendah karena memiliki kemiripan dengan kemenerusan perubahan ukuran butir batuan. Log sumur memiliki pola yang dapat mencirikan karakteristik suatu lingkungan pengendapan. Umumnya pola log yang diamati adalah log GR. Walker dan James (1992) membagi pola elektrofases berupa cylindrical, serrated, funnel, dan symmetrical.

## METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan menganalisis tiga data sumur yaitu, sumur ZAV-1, ZAV-1, dan ZAV-3. Analisis dilakukan secara kualitatif dengan menampilkan data log GR yang ditampilkan dengan bantuan perangkat lunak (Abdulateef dan Jawad, 2014). Analisis tambahan dilakukan dengan data biostratigrafi dari masing-masing sumur penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

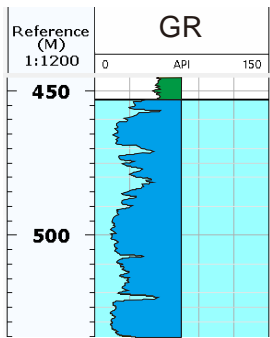
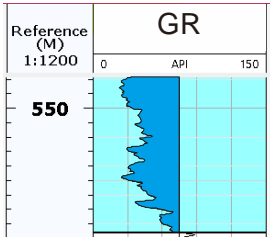
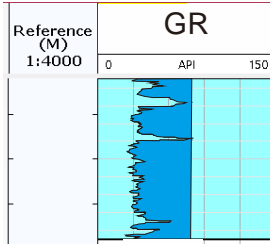
Identifikasi lingkungan pengendapan dilakukan dengan menganalisis data log GR secara kualitatif dimana kurva log GR bernilai rendah menunjukkan bahwa lapisan tersebut bersifat permeabel seperti batupasir, batugamping, maupun batubara. Sedangkan kurva log GR tinggi menunjukkan lapisan tersebut bersifat impermeable seperti shale. Dalam kenyataannya, terjadi perubahan bentuk kurva log GR yang dapat mencirikan suatu pola tertentu untuk mengidentifikasi jenis lingkungan pengendapannya (Zheng dkk., 2021). Identifikasi lingkungan pengendapan dengan analisis elektrofases ini belum tentu akurat sehingga harus dikombinasikan dengan data batuan inti agar lebih valid (Sharma dkk., 2012).

### A. Sumur ZAV-1

Terdapat dua zona target yang masing-masing memiliki litologi batu gamping yang terendapkan di atasnya berupa shale. Zona pertama berada pada kedalaman 453-593 m yang terendapkan pada Formasi Tawun yang berumur Middle Miocene dengan bentuk elektrofases cylindrical dan funnel. Pola cylindrical ditemui pada kedalaman 453-553 m dengan karbonat yang terbentuk berupa keep-up carbonate yang terendapkan pada shallow marine dengan proses pengendapan agradasi, yang mana ruang akomodasi seimbang dengan pertumbuhan organisme laut dan

tubuh karbonat dapat terbentuk secara merata. Kedalaman 533-593 m membentuk catch-up carbonate dengan pola funnel dan terendapkan pada daerah sekitar garis pantai (shoreline). Zona kedua berada pada kedalaman 709-890 m yang terendapkan pada Formasi Prupuh dan sebagian Tuban yang berumur Lower Miocene dengan bentuk elektrofases berupa cylindrical. Tubuh karbonat yang terbentuk berupa keep-up carbonate pada lingkungan shallow marine. Analisis elektrofases ini dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Analisis Elektrofases Sumur ZAV-1 menggunakan acuan Walker dan James (1992)

<i>Depth (m)</i>	<i>Kurva Log Gamma Ray</i>	<i>Elektrofases</i>	<i>Pola Pertumbuhan Karbonat</i>	<i>Lingkungan Pengendapan</i>
453 – 533		<i>Cylindrical</i>	<i>Keep-up Carbonate</i>	<i>Shallow water</i>
538 - 593		<i>Funnel</i>	<i>Catch-up Carbonate</i>	<i>Shoreline</i>
709 - 890		<i>Cylindrical</i>	<i>Keep-up Carbonate</i>	<i>Shallow water</i>

**B. Sumur ZAV-2**

Terdapat dua zona batuan karbonat pada sumur ZAV-2 yaitu pada kedalaman 905-953 m dan 1175-1405 m. Kedua zona ini memiliki pola elektrofases cylindrical dengan pola pertumbuhannya berupa keep-up carbonate. Pola ini diidentifikasi terendapkan pada lingkungan dangkal (shallow marine). Interval 579 – 800 m menunjukkan pola GR elektrofases bell yang

dicirikan kurva GR menghalus ke atas (fining upward). Pada interval ini, sedimen terendapkan secara retrogradasi dimana ruang akomodasi lebih besar dibanding sedimen karbonat sehingga tubuh karbonat tidak dapat terbentuk sempurna (give-up carbonate). Tidak adanya informasi lebih lanjut mengenai deskripsi litologi sehingga lingkungan pengendapan pada interval ini tidak dapat ditentukan secara akurat.

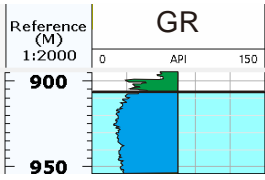
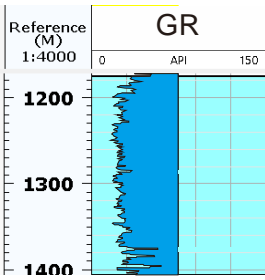
Namun dapat diketahui bahwa pengendapan sedimen pada interval ini dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Interval 800 – 954 m dan 1173 – 1390 m menunjukkan adanya pola elektrofases cylindrical yang mengindikasikan terbentuknya keep-up carbonate secara agradasi pada shallow water. Studi palaeoenvironment menunjukkan adanya fauna planktonic foraminifera dan calcareous benthonic dalam jumlah yang sangat banyak. Selain itu terdapat pula indikator lingkungan pengendapan dangkal seperti microgastropods, byozoa, dan fragmen cangkang yang tersingkap pada interval ini. Dengan demikian, zona target sumur ZAV-2 membentuk pola cylindrical dan bell yang menyatakan terbentuknya sedimen karbonat (keep-up carbonate) secara agradasi namun terhenti akibat kenaikan muka air laut saat transgresi sehingga membentuk tubuh give-up carbonate. Pengaruh kenaikan muka air laut ini diasosiasikan terjadi pada lingkungan dangkal sehingga zona target

sumur ZAV-2 terbentuk pada lingkungan paparan laut dangkal. Analisis elektrofases sumur ZAV-2 dijelaskan pada Tabel 2 berikut.

C. Sumur ZAV-3

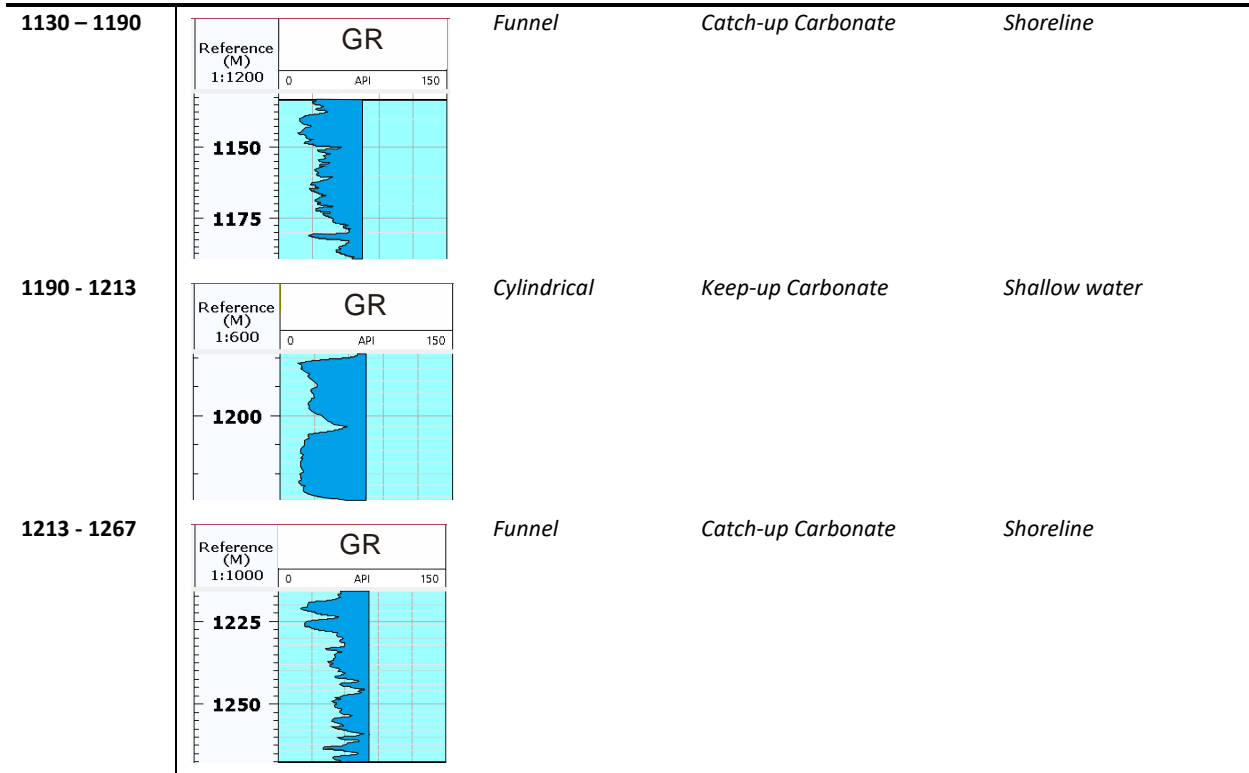
Sumur ZAV-3 teridentifikasi memiliki zona batuan karbonat pada kedalaman 1130-1267 m (Tabel 3). Pada kedalaman ini terbagi menjadi tiga pola elektrofases yaitu pada kedalaman 1130-1190 m, 1190-1213 m, dan 1213-1267 m. Kedalaman 1130-1190 m teridentifikasi pola kurva log GR berbentuk funnel yang membentuk tubuh karbonat berupa catch-up carbonate. Tubuh karbonat ini terendapkan di sekitar garis pantai (shoreline). Kedalaman 1190-1213 m membentuk pola cylindrical dengan tubuh karbonat yang terbentuk adalah keep-up carbonate yang terendapkan pada lingkungan dangkal (shallow marine). Sedangkan pada kedalaman 1213-1267 m diidentifikasi adanya pola funnel sebagai representasi pola karbonat catch-up carbonate. Tubuh karbonat ini terendapkan pada lingkungan sekitar garis pantai (shoreline).

Tabel 2. Analisis Elektrofases Sumur ZAV-2 menggunakan acuan Walker dan James (1992)

Depth (m)	Kurva Log Gamma Ray	Elektrofases	Pola Pertumbuhan Karbonat	Lingkungan Pengendapan
905 - 953		Cylindrical	Keep-up Carbonate	Shallow water
1175 – 1405		Cylindrical	Keep-up Carbonate	Shallow water

Tabel 3. Analisis Elektrofases Sumur ZAV-3 menggunakan acuan Walker dan James (1992)

Depth (m)	Kurva Log Gamma Ray	Elektrofases	Pola Pertumbuhan Karbonat	Lingkungan Pengendapan
-----------	---------------------	--------------	---------------------------	------------------------



Zona target cenderung memiliki pola funnel dan cylindrical yang mengindikasikan bahwa batuan karbonat terbentuk saat air laut mengalami kenaikan sehingga tubuh karbonat terbentuk perlahan. Kemudian muka air laut bersifat konstan sehingga karbonat dapat terbentuk dengan baik secara perlahan yang terlihat pada pola log GR yang cenderung bersifat blocky. Studi biostratigrafi pada daerah penelitian menunjukkan adanya fosil berjenis foraminifera berupa calcareous benthonic dan planktonic dengan rare miliolids, arenaceous forms, serta larger foraminifera yang tersebar di seluruh interval. Selain itu terdapat pula indikator lingkungan pengendapan dangkal seperti microgastropods, byozoa, dan fragmen cangkang yang tersingkap pada interval ini. Dengan demikian, pada zona target terendapkan pada lingkungan laut dangkal (shallow marine).

## **PENUTUP**

### **Simpulan dan Saran**

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah zona batuan karbonat membentuk pola berupa catch-up dan keep-up yang diidentifikasi dari pola log GR cylindrical dan funnel. Analisis elektrofasi menunjukkan bahwa zona karbonat terendapkan pada lingkungan laut dangkal (shallow marine).

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, diperlukan data sayatan batuan inti untuk melengkapi data logging dan data biostatigrafi untuk mendapatkan identifikasi lingkungan pengendapan yang lebih akurat.

### **Ucapan Terima Kasih**

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung penelitian ini, khususnya LPPM Universitas Lampung dan Laboratorium PPDG Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Abdulateef, D.A., Jawad, M.S.A.L., (2014), Electrofacies Characterization of an Iraqi Carbonate Reservoir. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering* 15, 15–24. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2407.3362>
- Al-Mudhafar, W.J. (2020), Integrating Electrofacies and Well Logging Data Into Regression and Machine Learning Approaches for Improved Permeability Estimation in a Carbonate Reservoir In a Giant Southern Iraqi Oil Field. *Offshore Technology Conference*. <https://doi.org/10.4043/30763-MS>
- Catuneanu, O., Galloway, W.E., Kendall, C.G.S.C., Miall, A.D., Posamentier, H.W., Strasser, A., Tucker,

- M.E. (2010), Sequence Stratigraphy : Methodology and Nomenclature 44, 173–245. <https://doi.org/10.1127/0078-0421/2011/0011>
- Davis, J.C. (2018), Electrofacies in Reservoir Characterization BT - Handbook of Mathematical Geosciences: Fifty Years of IAMG, in: Daya Sagar, B.S., Cheng, Q., Agterberg, F. (Eds.), . Springer International Publishing, Cham, pp. 211–223. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-78999-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78999-6_11)
- Kargarpour, M.A. (2020), Carbonate reservoir characterization: an integrated approach. *J Pet Explor Prod Technol* 10, 2655–2667. <https://doi.org/10.1007/s13202-020-00946-w>
- Kusuma, D., Dasa, F., Sadat, A. (2019), The Discovery of the Late Oligocene – Early Miocene of Kujung Cycle in JS-Ridge NE Java Basin, Indonesia. *ASEG Extended Abstracts 2019*, 1–3. <https://doi.org/10.1080/22020586.2019.12073012>
- Mudjiono, R., Pireno, G.E. (2002), Exploration of the North Madura Platform, Offshore East Java, Indonesia, in: PROCEEDINGS, INDONESIAN PETROLEUM ASSOCIATION. Jakarta, pp. 707–726. <https://doi.org/10.29118/ipa.980.707>
- Ryka, H., Jamaluddin, Pasha, R., Pratikno, F.A. (2020), Interpretasi Lingkungan Pengendapan Sumur R-2 Berdasarkan Analisis Elektrofases. *Petrogas* 2, 56–63.
- Satyana, A. H. Djumiati, M. (2003), Oligo- Miosen Carbonates of the east Java Basin Indonesia, in: AAPG (Ed.), International Conference. Barcelona.
- Sharma, A., Jain, T., Kapoor, H. (2012), Solutions to Problems Faced in Well Log Analysis in Carbonate Reservoir Systems Due To Multiple Porosities and Lithologies. AAPG International Convention and Exhibition, singapore 41063.
- Smyth, H., Hall, R., Hamilton, J., Kinny, P. (2005), East Java: Cenozoic Basins, Volcanoes and Ancient Basement, in: PROCEEDINGS, INDONESIAN PETROLEUM ASSOCIATION. Jakarta, pp. 251–266.
- Soleimani, B., Zahmatkesh, I., Sheikhzadeh, H. (2020), Electrofacies analysis of the Asmari reservoir, Marun oil field, SW Iran. *Geosciences Journal* 24, 195–207. <https://doi.org/10.1007/s12303-019-0035-6>
- Sribudiyani, S., Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumakso, A.H., Yulianto, I. (2003), The Collision of the East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurrences in the East Java Basin, in: PROCEEDINGS, INDONESIAN PETROLEUM ASSOCIATION. p. 13. <https://doi.org/10.29118/ipa.1530.03.g.085>
- Suharyati, Pambudi, S.H., Wibowo, J.L., Pratiwi, N.I. (2019), Indonesia Energy Outlook 2019, DEWAN ENERGI NASIONAL. Jakarta.
- Walker, R.G., James, N.P. (1992), Facies models: Response to Sea Level Changes, Geological Association of Canada. Canada. <https://doi.org/10.2110/jsr.55.448>
- Wibowo, R.C., Pertiwi, A.P., Kurniati, S. (2020), Identification of Clay Mineral Content Using Spectral Gamma Ray on Y1 Well in Karawang Area, West Java, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology* 5, 153–160. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2020.5.3.4504>
- Zaputlyaeva, A., Mazzini, A., Caracausi, A., Sciarra, A. (2019), JMantle-Derived Fluids in the East Java Sedimentary Basin, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 124, 7962–7977. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2018JB017274>
- Zheng, W., Tian, F., Di, Q., Xin, W., Cheng, F., Shan, X. (2021), Electrofacies classification of deeply buried carbonate strata using machine learning methods: A case study on ordovician paleokarst reservoirs in Tarim Basin. *Mar Pet Geol* 123, 104720. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104720>