
Geostatistics Application in 3-D Reservoir Modeling for Calculation of Hydrocarbon Resources (Case Study: North Rembang Area)

TAUFIK RAMLI¹

¹ *Research Center for Geological Resources, National Research and Innovation Agency*
Kampus BRIN Bandung Jl. Sangkuriang No. 21 Bandung, Jawa Barat 40135, Indonesia
taufik.ramli@brin.go.id

Abstract

Oil and gas are still indispensable commodities to meet Indonesia's energy needs in the next few decades, even though government policies related to energy transition towards net zero emission have begun to be encouraged. However, the oil and gas requirement is not followed by the availability of reserves or resources owned by Indonesia. The objective of this study is to discover new hydrocarbon resources, through 3-D reservoir modeling using geostatistical method. The geostatistical method is still the best current method to predict the distribution of facies association and reservoir petrophysical properties such as porosity and water saturation. In facies association modeling, a stochastic geostatistical method is used, namely the Truncated Gaussian with Trends (TGS) algorithm. For porosity and water saturation (SW) modeling, the Sequential Gaussian Simulation (SGS) algorithm was applied. The results of 3-D modeling of facies associations, porosity, and water saturation are utilized to estimate gas resources in the North Rembang Area. From the estimation of gas resources, it is recognized that the Rembang Ultra Area has accumulated gas resources around 3 TCF.

Keywords: geostatistics, modeling, reservoir, resources



Copyright © 2023 The Author(s)

This is an open-access article under the CC BY-SA license.

Aplikasi Geostatistika dalam Pemodelan Reservoir Tiga Dimensi untuk Perhitungan Sumberdaya Hidrokarbon (Contoh Kasus di Area Rembang Utara)

Abstrak

Minyak dan gas bumi masih menjadi komoditas yang sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia beberapa dekade kedepan, walaupun pemerintah telah membuat kebijakan terkait transisi energi menuju *net zero emission*. Akantetapi, kebutuhan akan minyak dan gas bumi ini tidak diimbangi dengan ketersediaan cadangan atau sumberdaya yang dimiliki oleh Indonesia. Adapun tujuan dari studi ini adalah menemukan sumberdaya hidrokarbon baru, melalui pemodelan reservoir tiga dimensi menggunakan metode geostatistika. Metode geostatistik masih merupakan metode terbaik saat ini untuk memprediksi sebaran data asosiasi fasies dan properti petrofisika reservoir seperti porositas dan saturasi air. Dalam pemodelan asosiasi fasies digunakan metode geostatistika stokastik, yaitu menggunakan algoritma *Truncated Gaussian with Trends* (TGS). Sedangkan untuk pemodelan porositas serta saturasi air digunakan algoritma *Sequential Gaussian Simulation* (SGS). Hasil dari pemodelan sebaran tiga dimensi asosiasi fasies, porositas, dan saturasi air (SW) digunakan untuk menghitung sumberdaya gas yang terakumulasi pada Area Rembang Utara. Dari hasil perhitungan sumberdaya gas, diketahui bahwa Area Rembang Utra terakumulasi sumberdaya gas sebesar 3 TCF.

Kata kunci: geostatistika, pemodelan, reservoir, sumberdaya

PENDAHULUAN

Sebagaimana dorongan dari pemerintah, dalam beberapa tahun kedepan indonesia akan melakukan transisi energi menuju *net zero emiosion* melalui Energi Baru dan Terbarukan (EBT) serta energi hijau, seperti panasbumi, tenaga surya dan biogas. Namun menurut pandangan beberapa praktisi, minyak dan gas bumi masih merupakan sumber energi fosil yang sangat dibutuhkan dalam beberapa dekade ke depan dalam pemenuhan kebutuhan energi yang terus meningkat, khususnya di Indonesia. Peningkatan kebutuhan energi fosil di Indonesia ini tidak diimbangi dengan cadangan atau sumberdaya minyak dan gas bumi yang mencukupi. Untuk mencukupi cadangan atau sumberdaya minyak dan gas ini perlu dilakukan kegiatan studi eksplorasi untuk menemukan sumberdaya baru. Kegiatan ini bisa dilakukan oleh praktisi, peneliti ataupun akademisi pada area-area *frontier*, maupun di area yang pernah dilakukan eksplorasi sebelumnya (pernah dilakukan pengeboran dan terdapat indikasi akumulasi migas) tapi ditinggalkan karena dianggap kurang

ekonomis. Salah satu contoh kasusnya bisa kita lihat pada Area Rembang Utara. Dari hasil studi terdahulu oleh sebuah perusahaan swasta pada tahun 1980-an, dari beberapa sumur eksplorasi, diketahui bahwa area tersebut terakumulasi gas yang dibuktikan dengan uji alir fluida atau *drill stem test* pada batugamping Formasi Kujung Unit I (Ramli, 2022).

Formasi Kujung dengan arah pelamparan barat-timur, memang telah terbukti menjadi reservoir utama yang produktif di Cekungan Jawa Timur Utara (Aprilana et al., 2018; Manurung et al., 2021; Marianto et al., 2022; Satyana & Djumlati, 2003). Walaupun begitu, masih banyak area-area yang telah terbukti memiliki akumulasi hidrokarbon dari hasil pengeboran, tidak dilanjutkan proses produksinya (Aditoyo et al., 2022). Selain itu menurut Irham et al. (2018), Formasi Kujung yang berada pada Cekungan Pati yang berada di bagian barat Cekungan Jawa Timur Utara juga memiliki resiko eksplorasi yang rendah.

Untuk mengetahui dan melakukan perhitungan ulang sumberdaya gas pada Area Rembang Utara, perlu dilakukan pemodelan reservoir tiga dimensi. Pemodelan reservoir tiga dimensi ini digunakan untuk menyimulasikan sebaran litologi atau asosiasi fasies serta sebaran propertinya, dalam hal ini sebaran porositas dan saturasi air. Dalam simulasi ini, metode geostatistika sangat dibutuhkan, karena data-data geologi memiliki hubungan korelasi terhadap jarak dan arah orientasi.

METODE PENELITIAN

Pemodelan reservoir tiga dimensi dilakukan melalui beberapa tahap (Gambar 1). Tapi sebelum dilakukan pemodelan, harus dilakukan preparasi dan interpretasi data mentah terlebih dahulu. Data mentah yang digunakan adalah berupa data seismik dan data sumur. Data mentah tersebut diperoleh dari Pusat Survei Geologi-Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. Adapun hasil dari preparasi dan interpretasi data adalah berupa informasi asosiasi fasies pada sumur dan sebaran fasies secara dua dimensi, peta kedalaman top dan base dari reservoir, serta properti reservoir yaitu nilai porositas dan saturasi air dari data sumur (Gambar 1). Data-data tersebut menjadi data dasar dalam melakukan pemodelan reservoir tiga dimensi.

Selanjutnya dilakukan pembuatan kerangka stuktur dan *scale-up* sumur. Ilustrasi pembuatan kerangka struktur dan *scale-up* dapat dilihat pada (Gambar 1). *Scale-up* adalah proses konversi dari data continuous pada sumur ke dalam bentuk

data diskrit berdasarkan ukuran dari *scale-up cell*. *Scale-up* dilakukan terhadap data asosiasi fasies dan properti batuan (porositas dan saturasi air). Tahap selanjutnya adalah pemodelan asosiasi fasies menggunakan algoritma *Truncated Gaussian Simulation with Trend* (TGS) dan pemodelan porositas serta saturasi air menggunakan algoritma *Sequential Gaussian Simulation* (SGS). Dalam pemodelan ini, ditentukan terlebih dahulu model variogram yang akan digunakan berdasarkan sebaran data, dengan rumus:

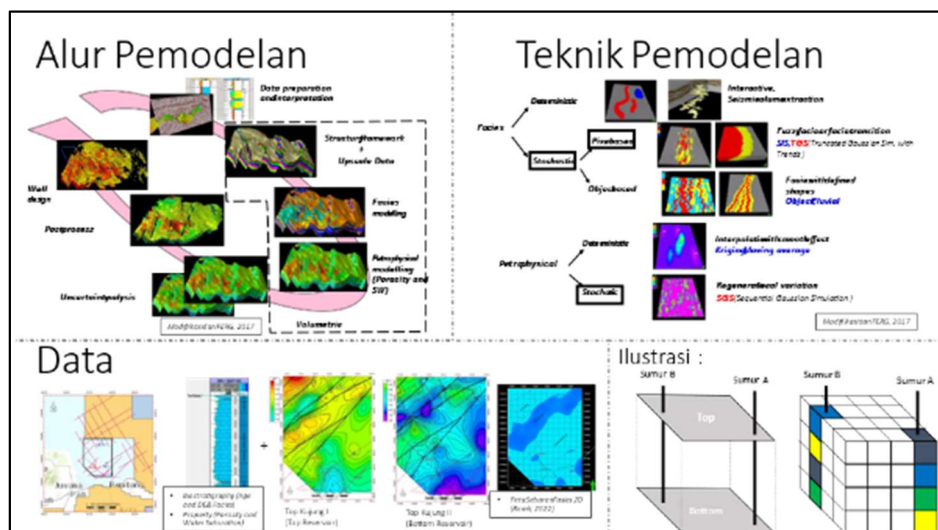
$$\lambda(h) = \frac{1}{2n} \sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \dots \dots \dots (Persamaan 1)$$

Dimana, $\lambda(h)$ adalah nilai variogram pada titik tertentu, $z(x_i)$ adalah nilai variabel z pada titik x_i , dan $z(x_i + h)$ adalah nilai variabel z pada titik $x_i + h$ yang dipisahkan oleh jarak sebesar h dari titik x_i .

Tahapan terakhir adalah melakukan perhitungan sumberdaya gas pada Area Rembang Utara menggunakan rumus:

$$G = \frac{Vb * \phi * (1 - Sw)}{B_g} \dots \dots \dots (Persamaan 2)$$

Dimana, Vb adalah total sumberdaya gas, ϕ adalah nilai porositas reservoir, dan $(1 - Sw)$ adalah nilai saturasi gas didalam pori, dan B_g adalah factor volume gas.

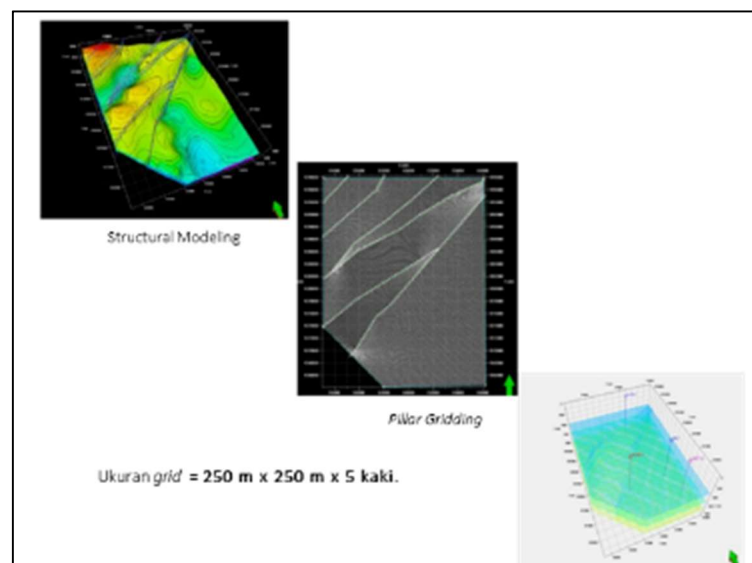


Gambar 1. Ketersediaan data dan alur kerja dalam pemodelan tiga dimensi (modifikasi dari FERG, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan struktur atau patahan adalah proses dimana mentransformasikan hasil interpretasi struktur pada data seismik menjadi model struktur dalam ruang tiga dimensi. Dari hasil pemodelan struktur diketahui arah dominan struktur adalah barat daya-timur laut (Gambar 2). Struktur ini sesuai dengan arah struktur regional di Cekungan Jawa Timur Utara (Darman & Sidi, 2000; Mudjiono & Pireno, 2002; Ramli, 2022).

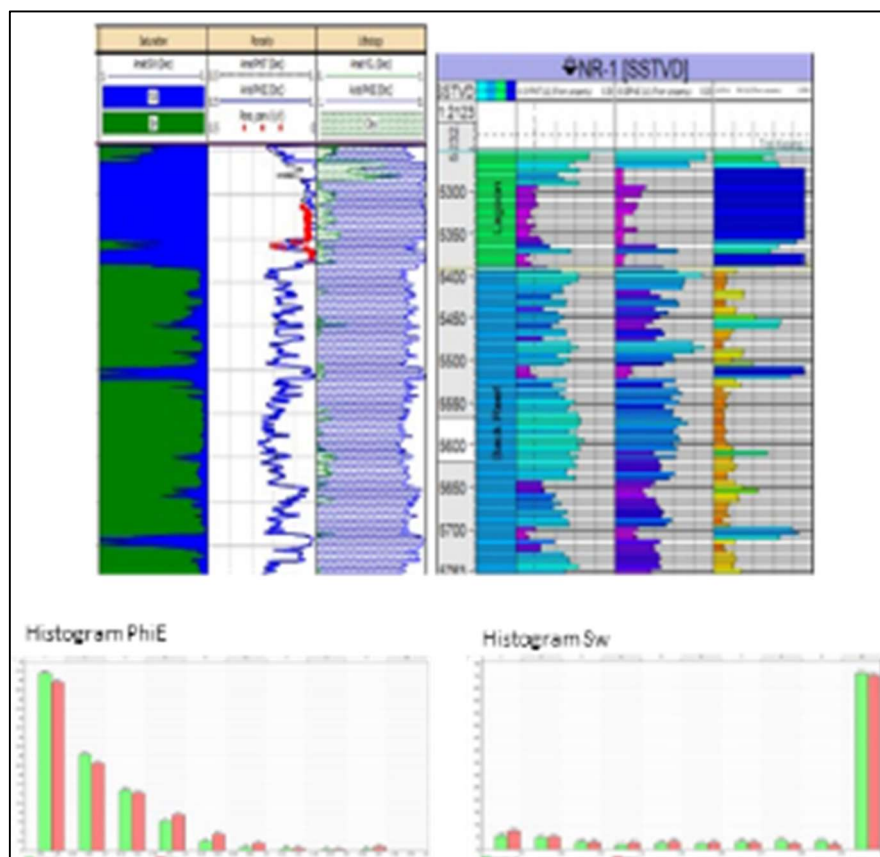
Selanjutnya dilakukan pemodelan *pillar gridding* (Gambar 2) dengan jarak XY tertentu dan menggunakan tren vertikal hasil model struktur. Struktur yang diinterpretasikan dari data seismik digunakan sebagai pilar dalam konstruksi model ruang tiga dimensi. Arah *grid* diorientasikan pada baratdaya-timurlaut sesuai dengan arah tren struktur (Gambar 2). Peta struktur kedalaman top dan base reservoir karbonat Formasi Kujung Unit I yang diperoleh melalui interpretasi seismik digunakan sebagai batas atas dan batas bawah model ruang tiga dimensi yang akan dibuat. Dari bangun ruang tiga dimensi tersebut dipecah menjadi *grid cell* dengan ukuran lebih kecil (ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 1). *Grid cell* ini harus dapat mewakili struktur, stratigrafi dan heterogenitas reservoir namun jumlah total *grid cell* secara keseluruhan tetap dijaga agar tidak terlalu kecil yang dapat memberatkan dalam komputasinya. Model tiga dimensi pada area penelitian menggunakan jarak *grid* 250 x 250 meter x 5 kaki. Jarak ini diasumsikan sudah sesuai dengan sebaran data yang tersedia (Gambar 2).



Gambar 2. Pemodelan Struktur dan pembuatan *pillar gridding*.

Scale-up adalah proses konversi dari data continuous sumur (dengan interval 0,5 kaki) kedalam bentuk data diskrit berdasarkan ukuran tinggi dari *grid cell*, dimana pada pemodelan ini tinggi *grid cell* yang digunakan adalah 5 kaki. Data hasil *scale-up* ini digunakan sebagai data dasar untuk disebarakan ke seluruh area yang akan dilakukan pemodelan tiga dimensi. Untuk memvalidasi hasil *scale-up* ini, dilihat dari histogram yang membandingkan antara data asli sumuran dengan data hasil *scale-up* (

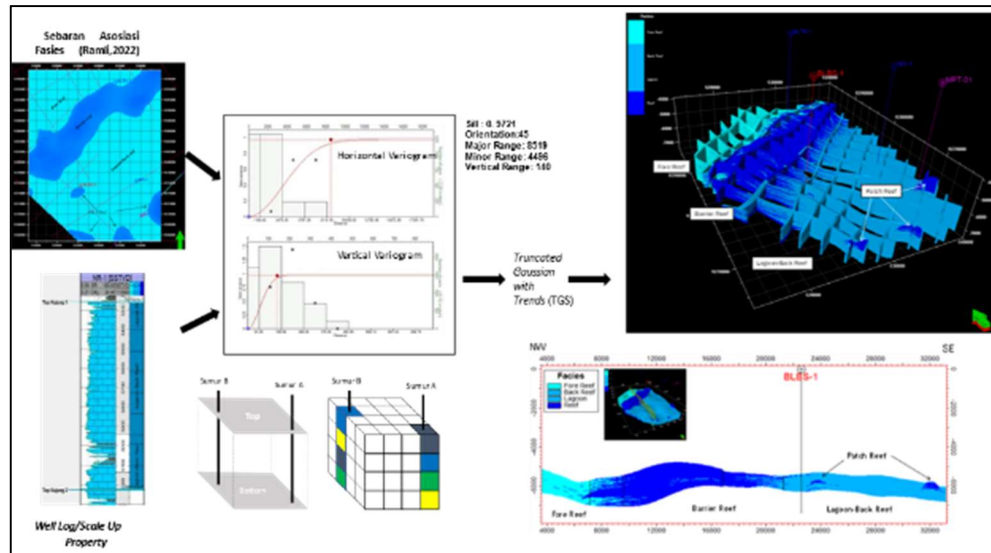
Gambar 3), jika selisih > 5 %, maka dilakukan scale up ulang.



Gambar 3. Proses up scale, dari data continuous ke data diskrit serta histogram antara data sumur dan hasil upscale untuk validasi.

Setelah proses pemodelan struktur dan *pilar gridding* selesai dilakukan, bangun ruang tiga dimensi telah memenuhi persyaratan untuk dimodelkan dengan data *scale-up* sebagai data dasar. Dalam pemodelan tiga dimensi untuk sebaran asosiasi fasies, digunakan metode geostatistik secara stocastik dengan algoritma *Truncated Gaussian Simulation with Trend* (TGS). Algoritma TGS ini menggunakan model variogram yang didapat berdasarkan sebaran dan hubungan antar data yang

tersedia. Algoritma TGS ini sangat sesuai digunakan untuk pemodelan fasies yang memiliki urutan secara alami (Matheron et al., 1987), seperti batu gamping (Syversveen, 2007).



Gambar 4. Hasil pemodelan asosiasi fasies 3 dimensi, terdapat empat asosiasi fasies yaitu, *fore reef*, *barrier reef*, *lagoon-back reef* dan *patch reef* (Ramli, 2022) yang berurutan dari arah utara ke selatan.

Model asosiasi fasies yang dijadikan dasar dalam pemodelan asosiasi fasies tiga dimensi ini adalah model asosiasi fasies Formasi Kujung Unit I di daerah penelitian oleh Ramli (2022). Formasi Kujung Unit I di daerah ini terdiri atas empat asosiasi fasies yaitu *fore reef*, *barrier reef*, *lagoon-back reef*, dan *patch reef* (Ramli, 2022) yang berurutan dari arah utara ke selatan (

Gambar 4). Arah cekungan (*basinward*) adalah relative barat laut, dengan arah penyebaran batugamping formasi ini adalah baratdaya-timurlaut dengan arah orientasi 45° NE. Arah orientasi ini yang dimasukkan sebagai arah orientasi dalam pemodelan. Hasil pemodelan asosiasi fasies dapat dilihat pada

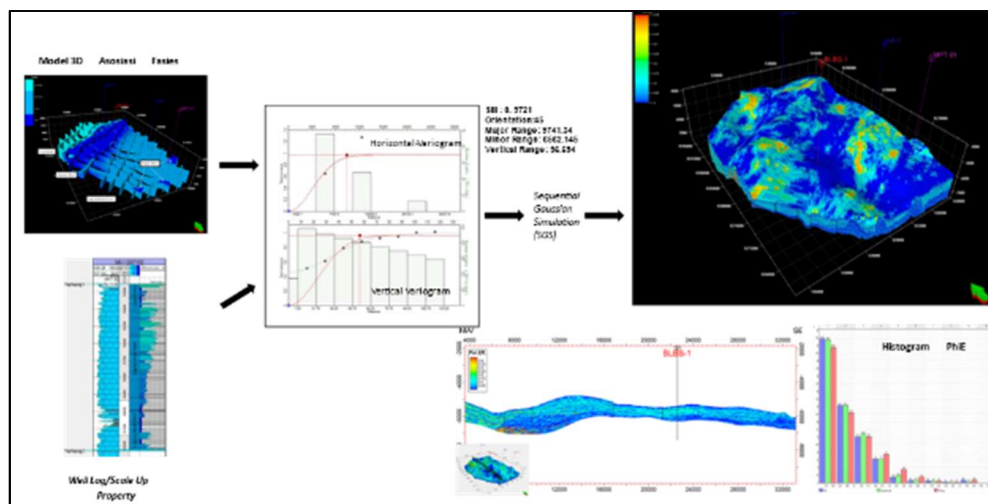
Gambar 4.

Model sebaran porositas adalah komponen terpenting yang dibutuhkan dalam menghitung volume total pori pada batuan reservoir. Yang menjadi data dasar dalam melakukan pemodelan tiga dimensi sebaran porositas adalah hasil pemodelan asosiasi fasies dan data porositas pada sumur yang telah di scale-up. Algoritma yang digunakan dalam pemodelan porositas secara tiga dimensi adalah *Sequential Gaussian Simulation* (SGS), karena algoritma ini secara matematis cukup sederhana, akantetapi bisa menghasilkan distribusi data normal serta dapat mengakomodasi

model variogram dan histogram dari data porositas (Deutsch, 2002). Variogram yang digunakan dalam pemodelan dapat dilihat pada

Gambar 5. Untuk memvalidasi hasil dari pemodelan ini, dilihat berdasarkan histogram yang membandingkan nilai porositas antara data asli dari sumur, data hasil scale-up, serta data hasil pemodelan tiga dimensi. Jika nilai selisihnya lebih dari 5 persen, maka dilakukan pemodelan ulang menggunakan model variogram baru. Hasil dari pemodelan porositas dapat dilihat pada

Gambar 5, terlihat bahwa empat asosiasi fasies yaitu, fore reef, barrier reef, lagoon-back reef, dan patch reef memiliki nilai porositas yang baik.

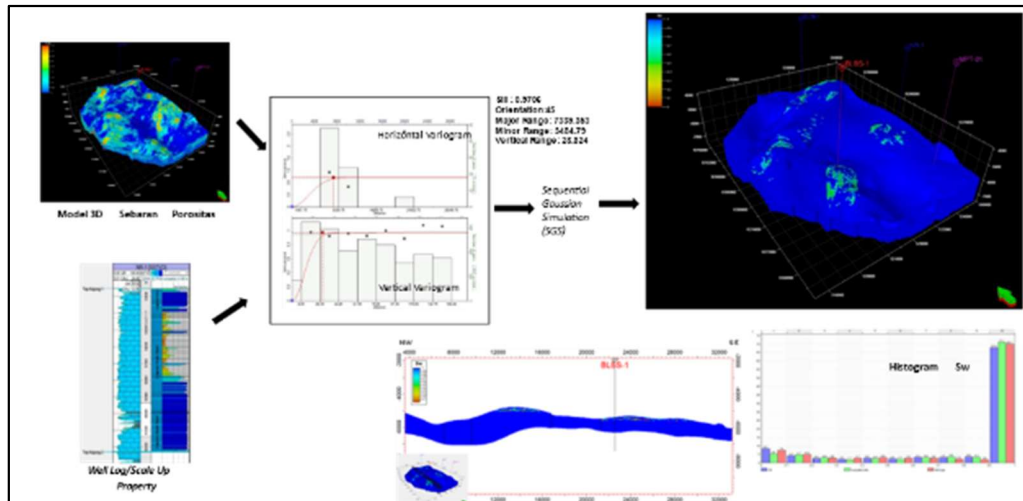


Gambar 5. Hasil pemodelan porositas secara tiga dimensi menggunakan algoritma *Sequential Gaussian Simulation* (SGS).

Selain dalam pemodelan porositas, algoritma *Sequential Gaussian Simulation* (SGS) juga digunakan dalam pemodelan untuk sebaran saturasi air yang dikontrol oleh model sebaran porositas. Data yang digunakan adalah data saturasi air pada sumur serta model sebaran porositas serta variogram yang memperlihatkan hubungan antar data baik secara horizontal maupun vertikal (

Gambar 6). Untuk memvalidasi hasil dari pemodelan ini, seperti yang dilakukan dalam validasi hasil pemodelan porositas, dilihat berdasarkan sebaran data pada histogram dengan membandingkan antara asli dari dari sumur, data hasil scale-up, serta data hasil pemodelan (

Gambar 6).



Gambar 6. Hasil pemodelan saturasi air menggunakan algoritma *Sequential Gaussian Simulation* (SGS) yang dikontrol oleh hasil pemodelan porositas.

Gambar 6 memperlihatkan hasil pemodelan saturasi air. Walaupun secara sebaran porositas, semua asosiasi fasies memiliki nilai porositas bagus, tetapi dari hasil pemodelan saturasi air memperlihatkan bahwa porositas pada asosiasi fasies fore reef dan patch reef semuanya terisi oleh air yang ditandai dengan nilai saturasi air 1 atau 100% (warna biru). Hanya pada asosiasi fasies barrier reef dan lagoon-back reef, dengan nilai saturasi air kurang dari 1 atau 100 %, yang mengindikasikan pori terisi oleh fluida selain air yaitu gas.

Perhitungan sumberdaya besaran volume hidrokarbon yang terdapat di daerah penelitian menggunakan nilai properti reservoir yang sudah dimodelkan sebelumnya. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan persamaan 2, dan diketahui bahwa Area Rembang Utra terakumulasi sumberdaya gas sebesar 2995 BCF

KESIMPULAN

Dalam pemodelan reservoir tiga dimensi, empat asosiasi fasies penyusun reservoir Formasi Kujung Unit I yaitu, fore reef, barrier reef, lagoon-back reef, dan patch reef (Ramli, 2022), dimodelkan secara tiga dimensi menggunakan algoritma *Truncated Gaussian Simulation with Trend* (TGS). Sedangkan dalam pemodelan porositas dan saturasi air menggunakan algoritma *Sequential Gaussian Simulation* (SGS). Dari hasil pemodelan porositas diketahui bahwa semua asosiasi fasies memiliki nilai porositas relatif bagus, akantetapi hanya asosiasi fasies barrier reef dan lagoon-back reef yang memiliki kandungan gas atau hidrokarbon yang

ditunjukkan dengan nilai saturasi air kurang dari 1. Dari hasil perhitungan sumberdaya gas, diketahui Area Rembang Utara setidaknya memiliki potensi sumberdaya mencapai 3 TCF. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah mendorong pemerintah daerah untuk dapat melakukan inventarisasi sumberdaya alam dimiliki, sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan perekonomian di daerahnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Survei Geologi-Badan Geologi, yang telah memberikan izin pemakaian data dalam penelitian ini. Selain itu ucapan terima kasih kepada panitia dari LPPM Politeknik Harapan Bangsa Surakarta, yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk mempresentasikan hasil penelitian ini pada Seminar Nasional Data Science 18 Maret 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiyo, R., Nugroho, D., Basuk, N. I., Agustiana, R., & Prasetya, A. (2022). Diagenetic Controls on Carbonate Reservoir Quality of Kujung I Formation in KE-2 Field, East Java Basin, East Java. *Jurnal Geosains Terapan*, 5(1), 1–5.
- Aprilana, C., Premonowati, I S, H., Choiratunnisa, Shirly, A., Utama, M. K., Sinulingga, Y. R., & Syafitra, F. (2018). New Perspective Paleogeography of East Java Basin; Implication respond to Oil and Gas Eksplorasi at Kujung Formation Carbonate Reservoir. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 132, 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/132/1/012006>
- Darman, H., & Sidi, F. H. (2000). *An outline of the geology of Indonesia*. Indonesian Association of Geologists.
- Deutsch, C. V. (2002). *Geostatistical Reservoir Modeling*. Oxford University Press.
- FERG. (2017). *Workshop Pemodelan Reservoir Statis Dasar Untuk Studi Geologi Dan Geofisika (G&G)*. PT. FERG Geosains Indonesia.
- Irham, S., Sulaksana, N., Sudrajat, A., & Burhanidunnur, M. (2018). Basin Classification Based on Quantitative Geological Risk Factors. *Bulletin of Scientific Contribution: Geology*, 16(2), 141–148.
- Manurung, P. L., Wibowo, R. C., & Dewanto, O. (2021). Total Organic Carbon (TOC) Value Prediction in Source Rock Potential at North East Java Basin, Indonesia.

-
- Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 6(3), 147–151. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2021.6.3.6644>
- Mariato, F., Sadat, A., Yusuf, H., & Hardanto, L. T. (2022, October). Reconstruction Carbonate Oligo Diagenesis Miocene in East Java Basin using Advantages Paleo-space Technique. *PIT IAGI 51st 2022, Makassar, South Sulawesi*.
- Matheron, G., Beucher, H., de Fouquet, C., Galli, A., Guerillot, D., & Ravenne, C. (1987, September 27). Conditional Simulation of the Geometry of Fluvio-Deltaic Reservoirs. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/16753-MS>
- Mudjiono, R., & Pireno, G. E. (2002). Exploration of the North Madura Platform, Offshore East Java, Indonesia. *Indonesian Petroleum Association, 28th Annual Convention Proceedings (Volume 1)*, 707–726.
- Ramli, T. (2022). Pemodelan Fasies Batugamping Formasi Kujung Unit 1, Area Offshore Rembang Utara, Menggunakan Data Sumur Dan Seismik 2D. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, 1(1), 42–47. <https://doi.org/10.31284/j.semitan.2022.3063>
- Satyana, A. H., & Djumlati, M. (2003). Oligo-Miocene Carbonates of the East Java Basin, Indonesia : Facies Definition Leading to Recent Significant Discoveries . *AAPG International Conference, Barcelona, Spain, September 21-24, 2003*, 1–5.
- Syversveen, A. (2007). Modeling Atolls by Truncated Gaussian Simulation. *EAGE Conference on Petroleum Geostatistics*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201403101>