



Karakteristik dan Indeks Kualitas Reservoir Hidrokarbon Menggunakan Metode Pemetaan Digital pada Formasi Ngrayong, Cekungan Jawa Timur Utara

Rian Cahya Rohmana¹⁾, Iqbal Fardiansyah²⁾, Leon Taufani²⁾ dan Dicky Harishidayat²⁾

¹Tanri Abeng University
Jl. Swadarma Raya No.58, Ulujami, Kec. Pesanggrahan, Kota Jakarta Selatan,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12250
²GeoPangea Research Group

Artikel Info:

Naskah Diterima:
6 Oktober 2021
Diterima setelah
perbaikan:
2 Desember 2021
Disetujui terbit:
30 Desember 2021

Kata Kunci:

Pemetaan digital
analogi karakterisasi
reservoir
indeks kualitas reservoir
hidrokarbon
cekungan Jawa Timur
Utara
digital mapping
analogy of reservoir
characterization
hydrocarbon reservoir
quality index

ABSTRAK

Pemetaan digital dapat menghasilkan analogi digital dari singkapan sebagai representasi dan gambaran kondisi bawah permukaan pada daerah yang memiliki kesamaan karakteristik geologi. Penerapan metode ini memungkinkan interpretasi dan pengukuran fitur geologi secara digital untuk keperluan karakterisasi reservoir hidrokarbon. Selain itu, metode ini tidak memerlukan biaya tinggi seperti akuisisi seismik atau *wireline logging*, sehingga eksplorasi hidrokarbon, khususnya untuk mengetahui karakter reservoir jauh lebih mudah dan murah. Penelitian ini dilakukan di wilayah Desa Binangun, Kabupaten Tuban, Jawa Timur, karena memiliki penyebaran Formasi Ngrayong yang cukup baik. Tujuan penelitian ini adalah memetakan secara digital singkapan batuan untuk memberikan gambaran awal karakteristik reservoir serta menghitung *reservoir quality index* (RQI). Metode pemetaan digital ini menggunakan kamera digital, *quadcopter drone*, dan perangkat *global positioning system*. Integrasi data pemetaan digital menghasilkan model fasies, properti (porositas dan permeabilitas), serta model RQI. Berdasarkan model RQI didapatkan tiga *potential flow units*, yakni *high quality* (porositas 25-35%, permeabilitas >500 mD), *medium - high quality* (porositas 27 - 30%, permeabilitas 90 - 500 mD) dan *medium quality* (porositas 24 - 33%, permeabilitas 85-95 mD). Metode pemetaan digital berhasil menggambarkan karakterisasi reservoir dan memberikan informasi lebih banyak pada daerah yang sedikit ataupun tidak memiliki data bawah permukaan, serta dapat mengurangi resiko dan ketidakpastian di bawah permukaan.

ABSTRACT

Digital mapping can produce digital analogies from outcrops as a representation and description of subsurface conditions in areas with similar geological characteristics. The application of this method allows digital interpretation and measurement of geological features for the characterization of hydrocarbon reservoirs. Moreover, this method does not require high costs such as seismic acquisition or wireline logging, so that hydrocarbon exploration, specifically to determine reservoir character, is much easier and cheaper. This research is conducted in Binangun village, Tuban Regency, East Java because it has a passable distribution of the Ngrayong Formation. The purpose of this study is to map the rock outcrops digitally in order to provide an initial description of reservoir characteristics and calculate the reservoir quality index (RQI). This

Korespondensi:
E-mail: rian@tau.ac.id
(Rian Cahya Rohmana)

digital mapping method uses a digital camera, quadcopter drone, and global positioning system devices. The integration of digital mapping data produces facies, property (porosity and permeability), and RQI models. Based on the RQI model, three potential flow units were obtained; high quality (porosity 25-35%, permeability >500 mD), medium-high quality (porosity 27–30%, permeability 90–500 mD) and medium quality (porosity 24–33 %, permeability 85 -95 mD). The digital mapping method has succeeded in describing reservoir characterization and providing more information in the areas with little or no subsurface data and it can reduce the risks and uncertainties in the subsurface.

© LPMGB - 2021

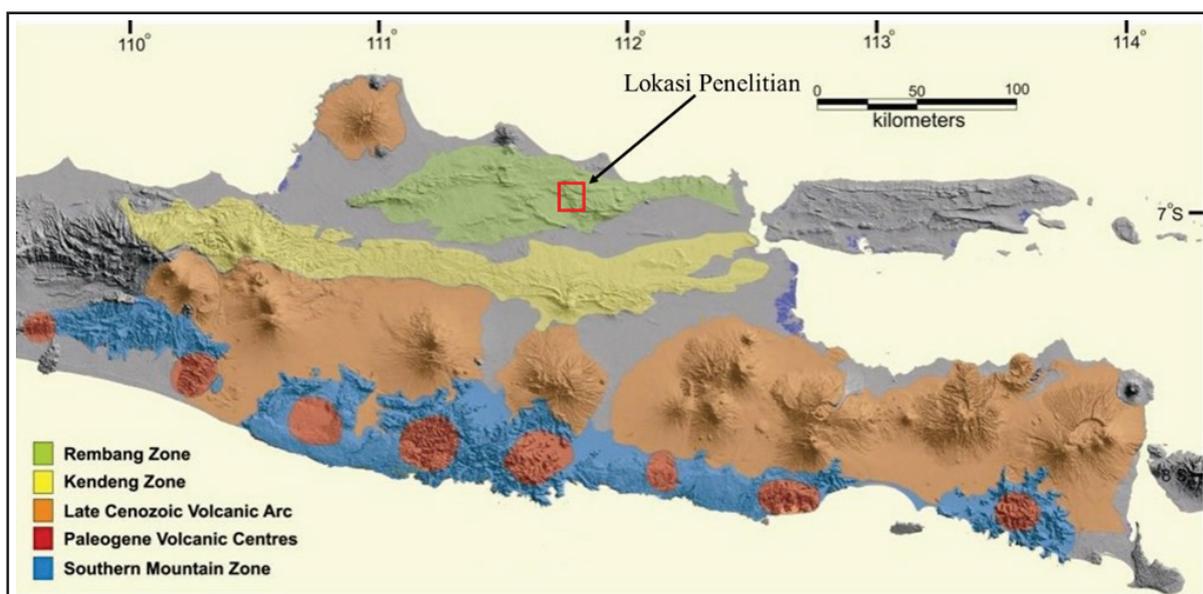
PENDAHULUAN

Tantangan dalam eksplorasi hidrokarbon adalah banyak daerah yang belum memiliki data bawah permukaan (seismik ataupun *wireline logging*) yang lengkap, sedangkan data-data tersebut cukup mahal untuk diakuisisi. Selain itu, diperlukan pemahaman geologi regional dan karakter reservoir pada lokasi eksplorasi tersebut. Salah satu metode baru yang ditawarkan dalam penelitian ini untuk memahami akan karakteristik reservoir adalah mengambil data geologi detail menggunakan pemetaan digital. Penelitian ini juga akan memberikan alur kerja serta memberikan gambaran karakterisasi reservoir tahap awal dan menghitung indeks kualitas reservoir (*reservoir quality index (RQI)*).

Beberapa tahun terakhir, banyak teknik dan metode baru yang muncul dan dikembangkan untuk menghasilkan suatu model geologi dengan menggunakan analogi singkapan batuan (Fabuel-Perez, dkk., 2010). Hal ini terjadi karena metode pengumpulan dan pemrosesan data digital semakin

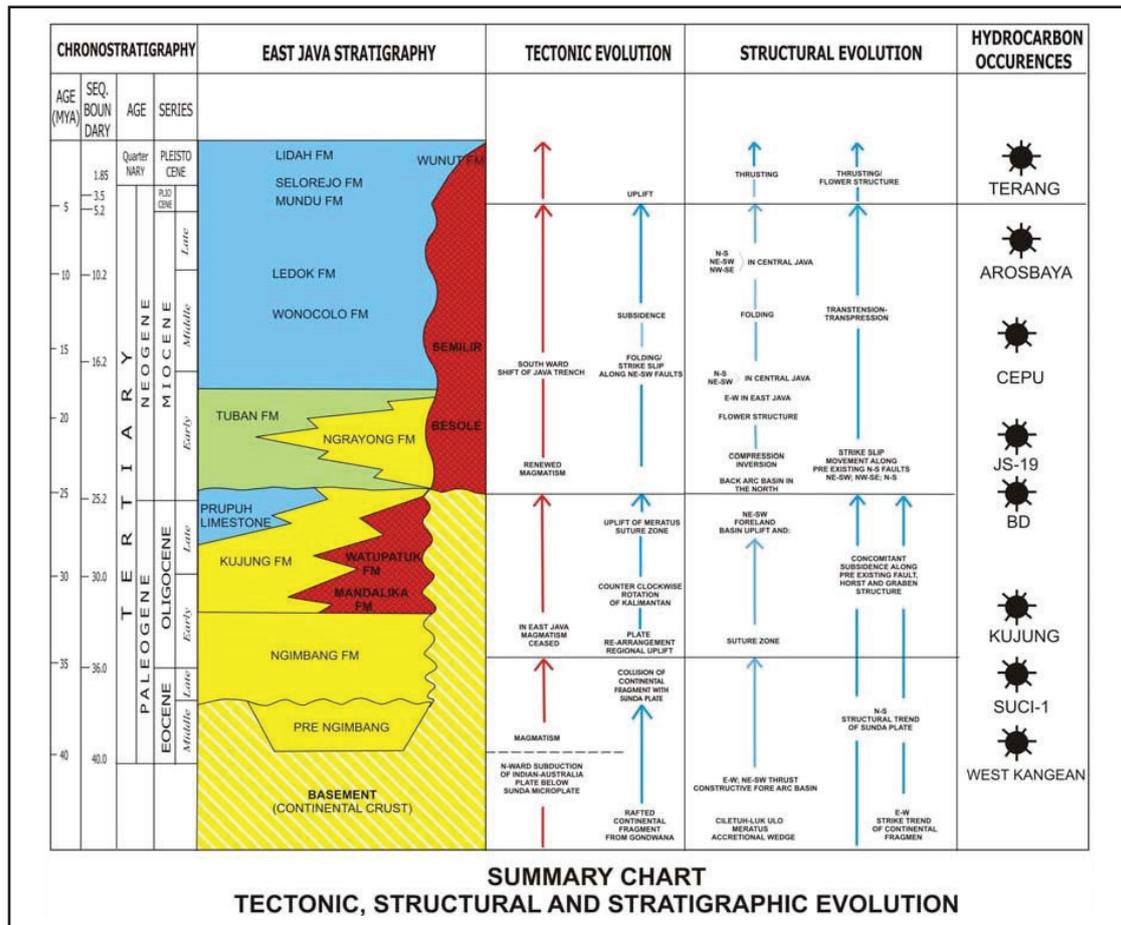
canggih dan bertambah maju (Buckley, dkk., 2008 dan Pringle, dkk., 2006) Pemetaan digital menggunakan prinsip yang sama dengan pemodelan singkapan geologi atau dikenal dengan *digital outcrop model (DOM)*. *Template* tiga dimensi (3D) untuk ekstraksi informasi atau dikenal dengan DOM merupakan metode yang digunakan dalam karakterisasi singkapan batuan dan membangun model geoseluler secara tiga dimensi (Bellian, dkk., 2005). Memanfaatkan *quadcopter drone* yang dilengkapi GPS sebagai alat untuk mengambil fotogrametri singkapan batuan yang selanjutnya diintegrasikan dengan data dan informasi geologi daerah penelitian.

Penelitian singkapan batuan sangat penting untuk mendukung analogi model reservoir ditempat-tempat yang minim akan data bawah permukaan (Fabuel-Perez, dkk., 2010). Metode DOM akan digunakan untuk interpretasi, visualisasi, manipulasi, dan analisis pada suatu singkapan batuan (Rohmana, dkk., 2016). Singkapan batuan dalam hal ini menjadi



Gambar 1

Digital elevation model (Shuttle Radar Transect Mission) yang di overlay dengan zona tektonostratigrafi daerah penelitian (Smyth, dkk., 2003).



Gambar 2

Hubungan antara tektonik dan stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara (Sribudiyani, dkk., 2013).

sangat penting, karna singkapan batuan bisa menjadi analogi yang baik untuk membangun model geologi yang mewakili reservoir. Kita bisa mendapatkan informasi penting untuk memahami arsitektural dan hubungan antar fasies serta distribusi properti dalam suatu badan reservoir (Bellian, dkk., 2005). Penggunaan singkapan batuan sebagai analogi untuk pemodelan geologi akan memberikan pemahaman arsitektural, hubungan antar fasies serta distribusi properti (porositas dan permeabilitas) di reservoir (Aigner, dkk., 1996) dan merupakan salah satu bagian yang penting untuk pemodelan reservoir mulai dari eksplorasi hingga mendukung produksi – *enhance oil recovery* (Fabuel-Perez, dkk., 2010 dan Miall, 2006).

A. Geologi Regional

Lokasi penelitian terletak Desa Binangun, Kabupaten Tuban, Jawa Timur dan berjarak ± 15 km Barat Daya Kota Tuban, masuk kedalam Zona Rembang, Cekungan Jawa Timur bagian Utara yang merupakan Antiklinorium Rembang-Madura

(Gambar 1). Fase Tektonik Cekungan Jawa Timur Utara dibagi menjadi 4 Fase (Sribudiyani, dkk., 2013) (Gambar 2). Fase yang keempat terjadi pada Pleistocene akhir – Holosen merupakan fase yang paling akhir terjadi yang sangat berpengaruh dalam terdapatnya hidrokarbon dalam cekungan ini, khususnya pada Formasi Ngrayong. Pada fase ini penunjaman lempeng Hindia dengan pulau Jawa sudah tegak lurus yang membentuk lipatan dan sesar yang memiliki arah umum Timur - Barat. Penunjaman lempeng tersebut menyebabkan terjadinya *partial melting*, sehingga di sebelah Selatan zona rembang terjadi aktivitas vulkanisme dan Zona Rembang berubah menjadi cekungan busur belakang. Peristiwa inilah yang membuat Zona Rembang menjadi daerah potensial untuk eksplorasi minyak dan gas bumi.

Susunan stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara dalam penelitian ini mengacu ke Pringgoprawiro dan Sukido (1992). Formasi penelitian yakni Formasi Ngrayong berumur Miosen Tengah (N11 - N12). Tersusun oleh batupasir kuarsa dengan perselingan batulempung, batulanau, lignit dan batugamping

bioklastik. Formasi Ngrayong diendapkan di daerah garis pantai, pada fasies *tidal bar* dan *tidal flat* (Satyana & Purwaningsih, 2003; Purnama, dkk., 2018). Fasies *tidal bar* terdiri dari perselingan batulempung dan batulanau dengan batupasir berbutir halus, terdapat struktur sedimen *flaser*, *mud drapes*, dan *cross-bedding* yang tersusun dengan pola *coarsening-upward* (Rohmana, 2013 dan Purnama dkk., 2018). Fasies *tidal flat* tersusun batuan sedimen berbutir halus, dengan sisipan *carbonaceous shale*, struktur *flaser - wavy lamination*, terdapat banyak bioturbasi (Purnama, dkk., 2018). Formasi Ngrayong merupakan salah satu batuan reservoir hidrokarbon potensial dan produktif hingga saat ini di Zona Rembang.

BAHAN DAN METODE

Proses pengambilan dan pengolahan data pada studi ini menggunakan:

- Perangkat geologi lapangan seperti kompas, palu geologi, *loupe*, meteran;
- Kamera DSLR
- *Quadcopter Drone*;
- Perangkat *global positioning system* (GPS)
- Proses pengolahan data menggunakan PC *workstation* dan menggunakan aplikasi geosains dan *modeling* untuk keperluan fotogrametri hingga pemodelan singkapan batuan untuk melihat karakteristik dan menghitung RQI.

Secara garis besar, metodologi yang digunakan dalam riset ini dapat diklasifikasikan menjadi tiga tahapan (Gambar 3). Tahap pertama meliputi pengambilan data geologi dan digital. Pengambilan data geologi termasuk pengukuran sedimentologi detil, pengukuran *strike/dip*, deskripsi batuan, analisis fasies, pengambilan sampel batuan untuk dianalisis di laboratorium dan kontak batuan, serta pengukuran arus purba.

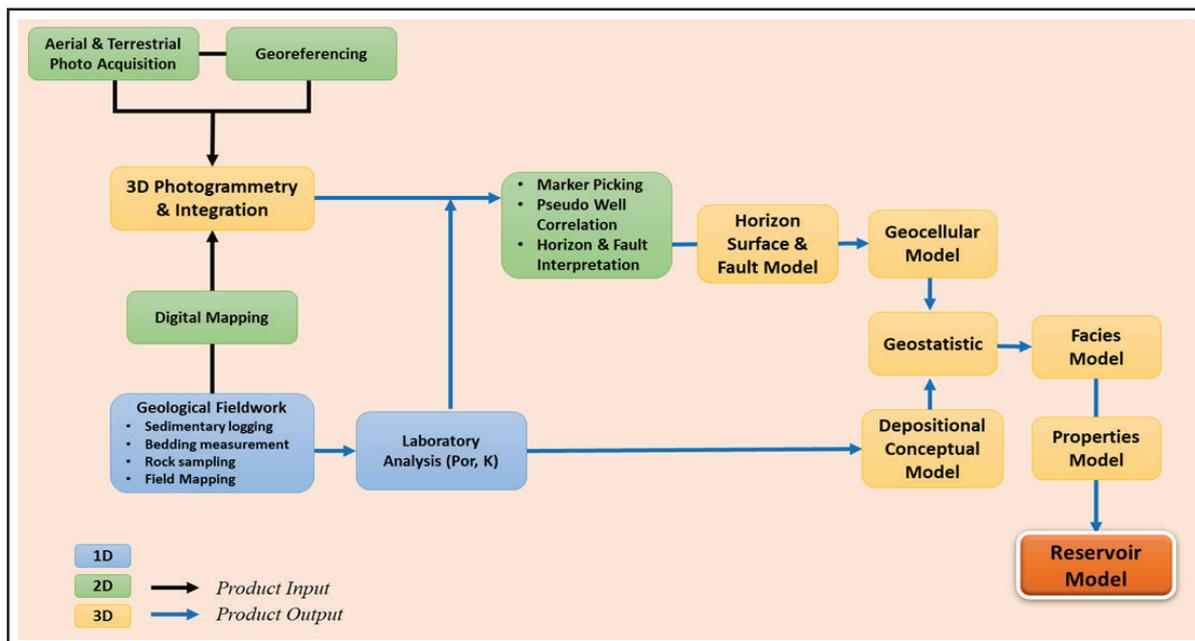
Tahap kedua meliputi pengolahan semua data menjadi *digital outcrop model*, yaitu melakukan analisa atribut singkapan, penentuan *horizon* reservoir serta distribusinya secara *spatial* dan *temporal*, serta ketebalan dari perlapisan batuan.

Pada tahap ketiga dilakukan pembuatan *geocellular outcrop model* dan konsep lingkungan pengendapan menggunakan metode *gridding* dan *stochastic*, secara berurutan. Selanjutnya untuk mengetahui karakteristik dan RQI formasi penelitian, dilakukan *facies modeling* dan *properties modeling* (model porositas dan permeabilitas) serta perhitungan RQI.

HASIL DAN DISKUSI

A. Sedimentologi, Stratigrafi dan Struktur Geologi

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran sedimentologi detil, searah *dip* dan searah *strike*



Gambar 3

Diagram alir penelitian, termasuk proses akusisi dan integrasi data, hingga membangun model reservoir.

dilakukan untuk mengetahui batasan penyebaran lateral masing-masing litofasies, dan pengukuran ini terbagi menjadi 3 lintasan yakni lintasan pertama total pengukuran 1503 m, lintasan kedua 1475 m dan lintasan ketiga 1450 m. Berdasarkan analisis data, dibagi menjadi sembilan fasies yaitu:

- Boundstone,
- Packstone,
- Batupasir
- Batupasir karbonatan
- Perselingan batupasir-batuserpih
- Perselingan batugamping-batuserpih
- *Calcareous Silty Sandstone*
- Batuserpih
- Batuserpih karbonatan.

Pada umumnya litofasies batupasir dicirikan oleh adanya struktur sedimen *cross-bedding*. Pada litofasies ini juga ditemukan pola pengkasaran (*coarsening*) dan penghalusan (*finning*) ke atas. Pengukuran arus purba pada singkapan batuan menunjukkan nilai rata-rata 175° yang mewakili arah pengendapan utama. Berdasarkan data di lapangan, diinterpretasikan bahwa pengendapan terjadi karena dipengaruhi oleh gelombang pasang surut (*tidal*). Pada penelitian ini diinterpretasikan terdapat fasies *tidal bar* yang dicirikan oleh *lenticular – flaser*

lamination, terdapat bioturbasi, terdapat pecahan organisme (fosil), serta adanya lapisan tipis Fe-Ox. Hasil interpretasi juga menunjukkan adanya fasies *tidal flat* yang didominasi material sedimen berbutir halus, struktur sedimen *flaser – wavy lamination*, terdapat material karbon, dan fitur bioturbasi cukup jarang dijumpai. Hal ini tentu sesuai dengan hasil penelitian oleh beberapa peneliti yang mengatakan bahwa Formasi Ngrayong di daerah penelitian ini memiliki lingkungan pengendapan di garis pantai, termasuk fasies *tidal bar* dan *tidal flat*.

Hasil dari pengamatan dan pengukuran geologi struktur, terdapat dua sesar (Gambar 6) di daerah penelitian, yakni:

- *Reverse left slip fault*.
- *Right thrust slip fault* yang dibagi menjadi tiga kompartemen: *monocline updip (hanging wall)*, *pop-up anticline (hanging wall)*, dan *monocline downdip (footwall)*.

Identifikasi sesar ini diperlukan untuk membantu menggambarkan adanya kompartemen reservoir di bawah permukaan. Berdasarkan data tersebut, dibangun sebuah model sesar (*fault modeling*).

Fault model akan membantu untuk memberikan gambaran model kompartemen reservoir pada daerah studi. Model dimulai dengan membangun *pillar gridding* (Gambar 7) berdasarkan pengukuran

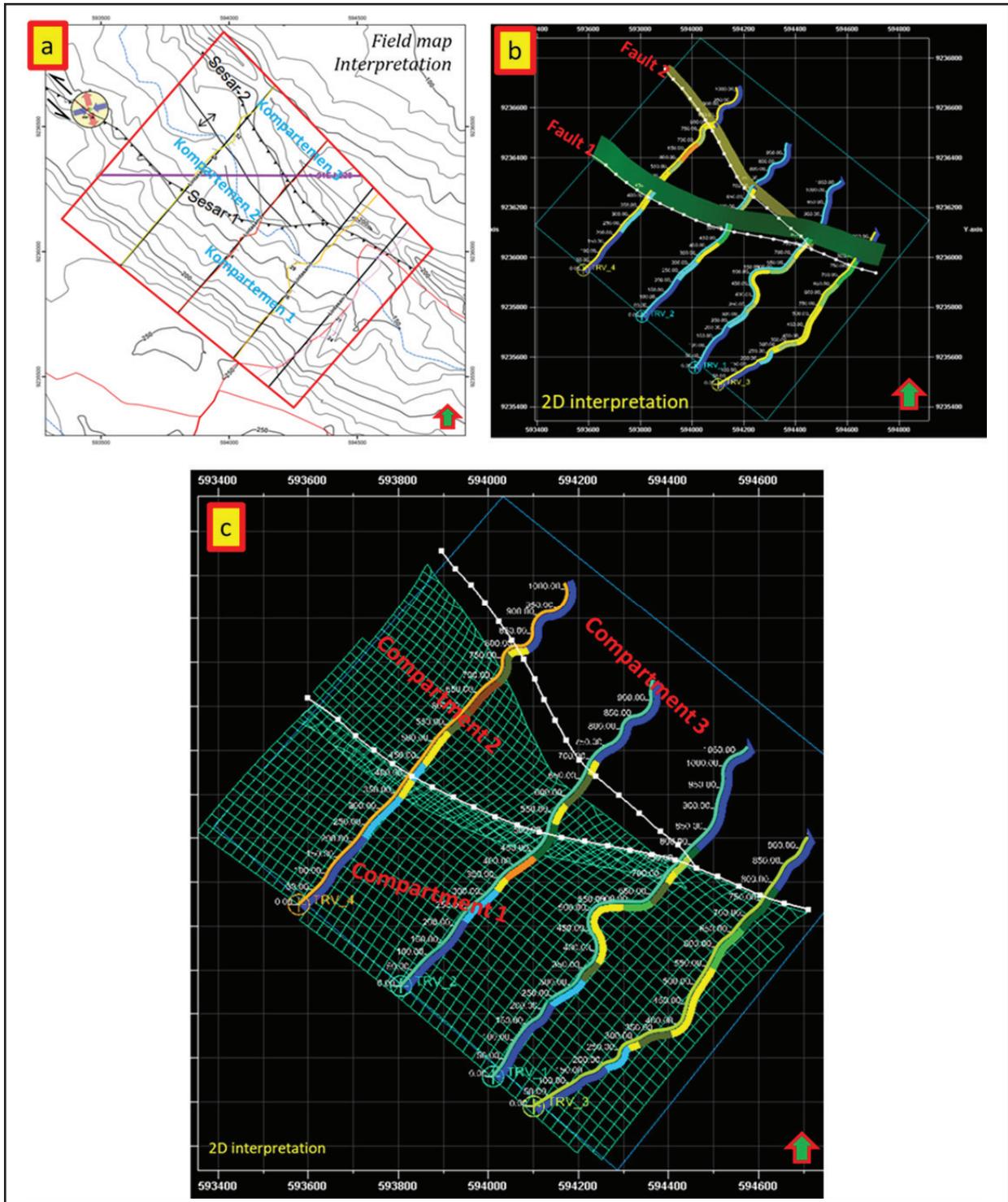


Gambar 6
Bukti adanya sesar di lapangan dan hasil analisis data sesar menunjukkan terdapat 2 sesar utama yakni *reverse left slip fault* dan *right thrust slip fault*.

data struktur geologi (sesar) dilapangan, dilanjutkan dengan membuat *horizon*, *stratigraphic surface* 3D dan mengintegrasikannya dengan data pengukuran sedimentologi detail.

Stratigraphic surface 3D hanya dibuat pada kompartemen satu dan dua karena Formasi Ngrayong

hanya terdapat pada kompartemen ini. Terdapat empat *stratigraphic surface* utama yang dikontrol oleh *strike* dan *dip* lapisan batuan di lapangan, sehingga horizon yang dibentuk sangat akurat (Gambar 8). *Stratigraphic surface* utama penting dibuat untuk membagi zona stratigrafi berdasarkan



Gambar 7

Model sesar dibangun berdasarkan data yang diukur di lapangan. a). Peta struktur geologi di daerah penelitian, b). *pillar gridding* berdasarkan pengukuran sesar, c). model kompartemen reservoir.

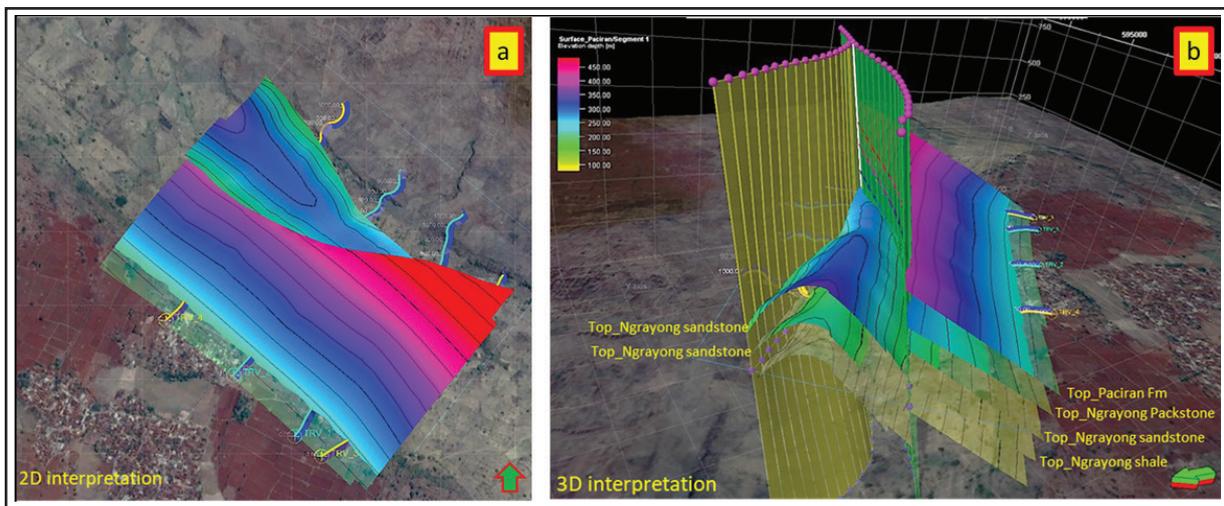
data lapangan (Fabuel-Perez, dkk., 2010; Rohmana dkk., 2016 dan Taufani, dkk., 2019). Selanjutnya dibuat *geological model* 3D untuk membantu menggambarkan karakteristik reservoir Formasi Ngrayong di bawah permukaan, terutama pada situasi seperti kompartemen satu dan dua.

B. Karakteristik Reservoir

Untuk mengetahui gambaran awal karakteristik reservoir, maka dibangunlah beberapa model yakni model fasies, ukuran butir, porositas dan permeabilitas singkapan dan model RQI. Untuk membangun model reservoir, maka dalam penelitian ini menerapkan teknik pemodelan geologi (geostatistika) yaitu

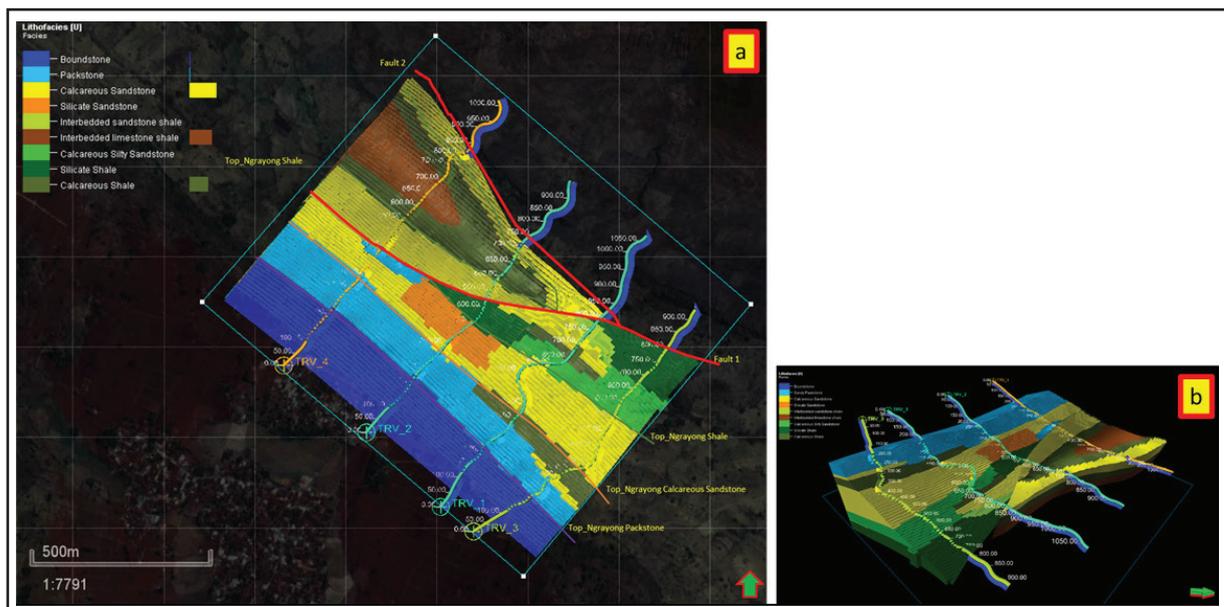
metode *indicator kriging*. Metode ini dipilih karena berhasil memodelkan kondisi singkapan permukaan dengan tingkat keyakinan yang tinggi dan akurat, sehingga hasil yang didapatkan realistis secara pemahaman dan konsep geologi.

Fasies yang dominan hadir pada model fasies adalah batupasir karbonatan yang ditunjukkan dengan warna kuning (Gambar 9). Fasies ini potensial sebagai reservoir, namun jika dilihat dari model fasies, cukup banyak *barrier* dari fasies lain, seperti batuserpih, batuserpih karbonatan, hingga *calcareous silty sandstone* yang ditunjukkan dengan warna hijau muda – tua. Adanya *barrier* ini menunjukkan proses



Gambar 8

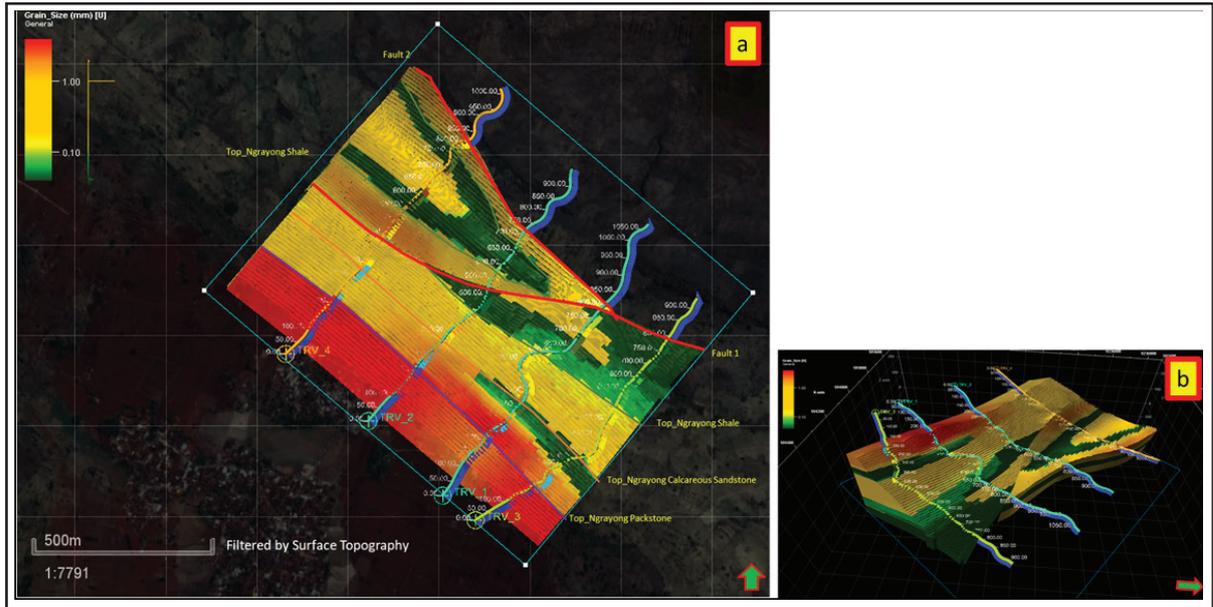
a) *Stratigraphic surface* hanya dibuat pada kompartemen satu dan dua, b) terdapat empat *stratigraphic surface* utama yang dikontrol oleh *strike* dan *dip* lapisan batuan di lapangan.



Gambar 9

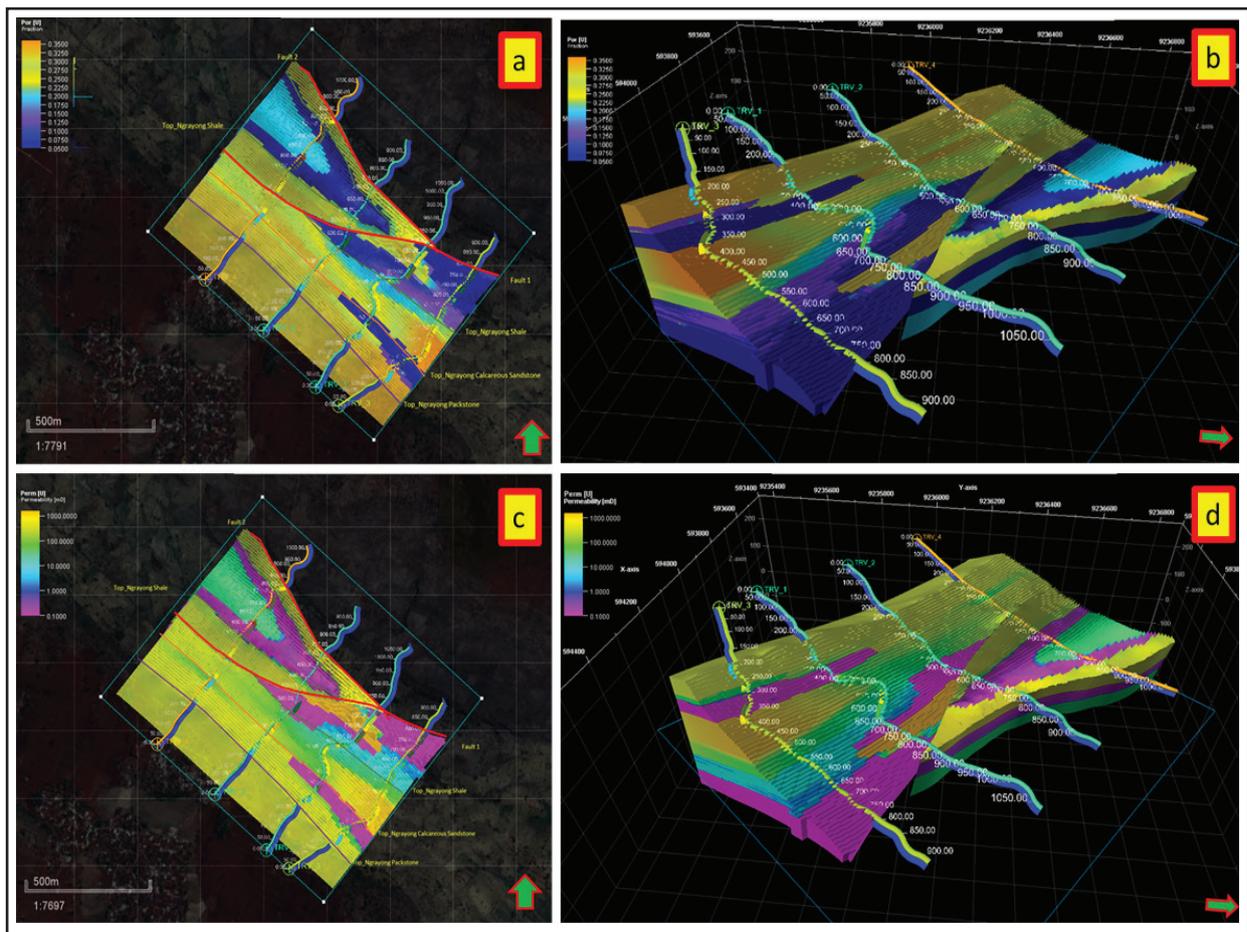
a) Pada model fasies didapatkan penyebaran masing-masing fasies batuan, berdasarkan data lapangan, terdapat 9 fasies, b) Model fasies yang difilter berdasarkan topografi permukaan.

Karakteristik dan Indeks Kualitas Reservoir Hidrokarbon Menggunakan Metode Pemetaan Digital pada Formasi Ngrayong, Cekungan Jawa Timur Utara (Rohmana, dkk.)



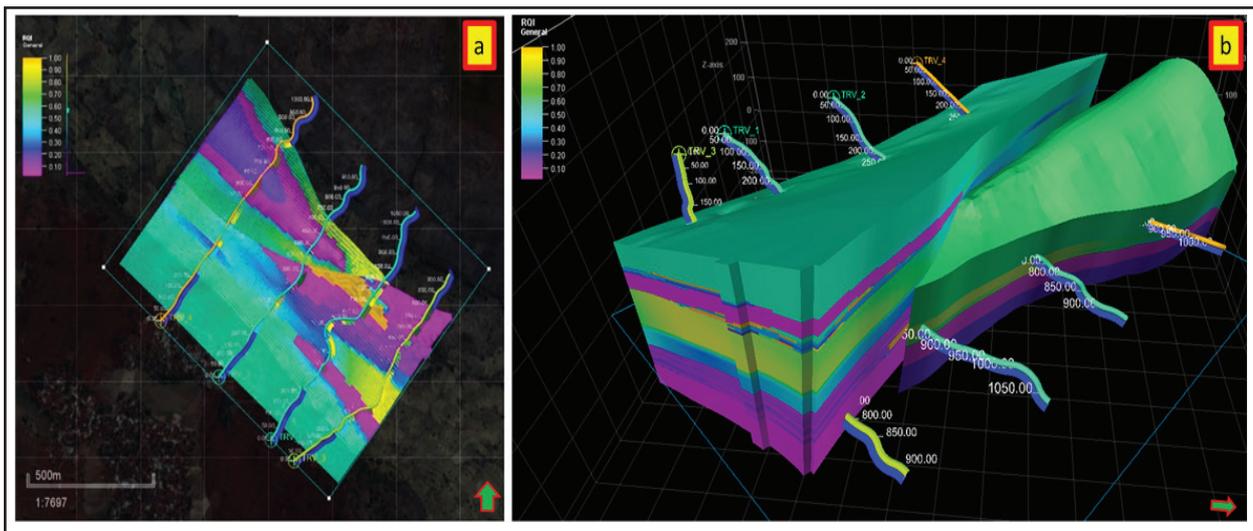
Gambar 10

a) Model ukuran butir menunjukkan distribusi ukuran butir pada daerah penelitian, b) Model ukuran butir yang difilter berdasarkan topografi permukaan.



Gambar 11

a) Model porositas menunjukkan zona *porous* berada pada fasies dengan litologi batupasir dan batugamping, b) Model porositas yang difilter berdasarkan topografi permukaan, c) Pada model permeabilitas terlihat adanya *permeability barrier* yang bisa mempengaruhi kualitas reservoir di formasi penelitian, d) Model permeabilitas yang difilter berdasarkan topografi permukaan.



Gambar 12

Hasil perhitungan RQI didapatkan tiga *flow units* potensial. a) Model RQI pada daerah penelitian untuk membantu menilai karakterisasi reservoir, b) Model RQI yang difilter berdasarkan topografi permukaan.

sedimentasi yang dinamis, dan juga menunjukkan kemungkinan adanya *porosity barrier* pada daerah penelitian. Fasies model ini, akan menjadi pengontrol pada model-model berikutnya dengan sistem pengendapan yang sama.

Model ukuran butir menggambarkan distribusi ukuran butir yang menyusun masing-masing fasies pada lokasi penelitian. Berdasarkan model ukuran butir, fasies dan lingkungan pengendapan tentunya sangat berpengaruh terhadap distribusi ukuran butir pada lokasi penelitian (Gambar 10). Variasi ukuran butir dari ukuran 0.01 – 2 mm menunjukkan pengendapan mulai dari kondisi energi rendah hingga energi tinggi yang sangat mungkin terjadi pada lingkungan pasang surut.

Untuk membangun model porositas dan permeabilitas, dilakukan integrasi model fasies, ukuran butir, petrografi serta hasil pengukuran porositas dan permeabilitas dari sampel batuan. Model fasies dan ukuran butir dijadikan titik kontrol dalam membangun model porositas agar hasilnya tervalidasi dengan baik. Buktinya adalah nilai porositas antara 20-35% dianggap sebagai zona *porous* yang tersusun dari fasies dengan litologi batupasir dan batugamping (Gambar 11.a dan 11.b). Sedangkan zona dengan nilai porositas lebih rendah tersusun dari fasies dengan litologi batulanau – batuserpih. Pada model permeabilitas (Gambar 11.c dan 11.d), fasies dengan litologi batupasir dan batugamping memiliki nilai permeabilitas antara 50 – 1000 mD. Fasies batulanau dan batuserpih pastinya

memiliki nilai yang lebih rendah yakni <0,5 mD. Jika dilihat dari model porositas dan permeabilitas dapat disimpulkan bahwa pada lokasi penelitian terdapat zona potensial reservoir terutama pada fasies dengan litologi batupasir dan batugamping. Berdasarkan model dapat dilihat juga bahwa terdapat *barrier* pada porositas ataupun permeabilitas yang bisa mempengaruhi kualitas reservoir pada formasi penelitian.

C. Reservoir Quality Index (RQI)

Model RQI merupakan konsep untuk menggambarkan hubungan antara porositas dan permeabilitas. Memahami porositas dan permeabilitas dapat menjadi tantangan tersendiri akibat kompleksitas distribusi pori yang dipengaruhi oleh fasies dan proses diagenesis pada batuan. Untuk itu, RQI menjadi penting dan dapat membantu dalam karakterisasi reservoir. Untuk menghitung RQI ini digunakan rumus (Al-Rbeawi & Kadhim, 2017):

$$RQI = 0.0314 (k / \phi)^{0.5} \quad (1)$$

Dimana RQI merupakan gabungan dua sifat petrofisika yang paling penting: porositas (ϕ) dan permeabilitas (k), mengontrol kualitas reservoir dalam hal penyimpanan dan transmisibilitas sehingga dapat menilai kualitas reservoir berdasarkan *hydraulic flow unit* (Al-Rbeawi & Kadhim, 2017). Hasil perhitungan didapatkan tiga *flow units* potensial (Gambar 12), yaitu:

- *High reservoir quality* dengan nilai RQI 0,90 – 1,00 pada batupasir karbonatan (*isolated bar facies*), memiliki nilai porositas 25 – 35% dan nilai permeabilitas >500 mD.
- *Medium – high reservoir quality* dengan nilai RQI 0,85 – 0,90 pada batupasir karbonatan (*sand bar facies*), memiliki nilai porositas 27 - 30% dan nilai permeabilitas 90 - 500 mD.
- *Medium reservoir quality* dengan nilai RQI 0,7 - 0,8 dengan litologi *packstone (shoreface facies)* memiliki nilai porositas 24 - 33% dan nilai permeabilitas di bawah permukaan 85 - 95 mD.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengukuran sedimentologi detail searah *strike* dan *dip* terdapat sembilan facies pada lokasi penelitian yang diendapkan pada lingkungan pasang surut khususnya *tidal bar* dan *tidal flat*.

Terdapat dua sesar utama dan pada salah satu sesar terbagi tiga kompartemen. Dua kompartemen disusun oleh formasi penelitian berhasil memodelkan konsep struktur geologi (*structural play*).

Berdasarkan model fasies, ukuran butir dan model properti, fasies batupasir karbonatan dan *packstone* merupakan fasies yang paling baik menjadi reservoir, namun harus memperhatikan kehadiran *barrier* dari fasies lain yang bisa mengurangi kualitas reservoir.

Model RQI berhasil menggambarkan tiga *flow unit* potensial yang dapat memberikan pemahaman tentang hubungan porositas dan permeabilitas suatu reservoir.

Metode pemetaan digital yang dilakukan pada daerah penelitian berhasil menunjukkan gambaran awal karakteristik reservoir Formasi Ngrayong serta memberikan metode detil dan terukur untuk memahami karakter reservoir menggunakan data permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Yudi Satria Purnama, Iwan Bagus Indriyanto, Gazali Rahman serta rekan-rekan ahli geologi dari UPN “Veteran” Yogyakarta dan GDA yang sudah membantu hingga memberi saran dalam penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada editor dan redaksi Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi, Lemigas yang sudah memberi umpan balik dan kesempatan mempublikasikan penelitian ini.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
DOM	<i>Digital Outcrop Model</i>	
GPS	<i>Global Positioning System</i>	
k	Permeabilitas	mD
phi	Porositas	%
RQI	<i>Reservoir quality index / indeks kualitas reservoir</i>	
TRV	<i>Traverse / Lintasan</i>	

KEPUSTAKAAN

- Aigner, T., Asprion, U., Hornung, J., Junghans, W.-D., & Kostrewa, R.**, 1996. Integrated outcrop analogue studies for Triassic alluvial reservoirs: examples from southern Germany. *Journal of Petroleum Geology*, 19(4), pp. 393-406.
- Al-Rbeawi, S. & Kadhim, F.**, 2017. The Impact of Hydraulic Flow Unit and Reservoir Quality Index on Pressure Profile and Productivity Index in Multi-Segments Reservoirs. *Petroleum*, 3(4), pp. 414-430.
- Bellian, J., Kerans, C. & Jennette, D.**, 2005. Digital outcrop models: applications of terrestrial scanning lidar technology in stratigraphic modeling. *Journal of Sedimentary Research*, 75(2), p. 166–176.
- Buckley, S., Howell, J., Enge, H. & Kurz, T.**, 2008. Terrestrial Laser Scanning In Geology: Data Acquisition, Processing And Accuracy Considerations. *Journal of the Geological Society*, 165(3), pp. 625-638.
- Fabuel-Perez, I., Hodgetts, D. & Redfern, J.**, 2010. Integration of Digital Outcrop Models (DOMs) and High Resolution Sedimentology – Workflow and Implications for Geological Modeling Oukaimeden Sandstone Formation, High Atlas (Morocco). *Petroleum Geoscience*, 16(2), pp. 133-154.
- Miall, A. D.**, 2006. Reconstructing the architecture and sequence stratigraphy of the preserved fluvial record as a tool for reservoir development: A reality check. *AAPG Bulletin*, 90(7), p. 989–1002.
- Pringgoprawiro, H. & Sukido**, 1992. Geological map of Bojonegoro quadrangle. East Java, Bandung: Geological Research and Development Center of Indonesia.

- Pringle, J. K., Howell, J., Hodgetts, D., Westerman, A., R., & Hodgson, D., M.**, 2006. Virtual Outcrop Models of Petroleum Reservoir Analogues: A Review of The Current State-of-The-Art. *First Break*, 24(3), pp. 33-42.
- Purnama, Y. S., Gunawan, A., Darmawan, W., Rohmana, R.C., Adipradipto, D., Halim, J., Naufal, R., & Rahmanto, B.**, 2018. Characters of Sedimentology, Rock Property and Geochemistry of The Ngrayong and Tuban Formations in The Pati Trough, Onshore North East Java Basin. Jakarta, Indonesian Petroleum Association (IPA).
- Rohmana, R. C.**, 2013. Geologi, Fasies Pengendapan dan Porositas Formasi Ngrayong, Daerah Kadiwono dan sekitarnya, Kecamatan Bulu, Kabupaten Blora-Rembang, Propinsi Jawa Tengah. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional.
- Rohmana, R. C., Fardiansyah, I., Taufani, L., Budiman, A., S., & Gunawan, A.**, 2016. Digital Outcrop Model (DOM) And High-Resolution Sedimentology of Balikpapan Deltaic Sandstone: Perspective of Heterogeneities in Thin-Bed Reservoir. Jakarta, Indonesian Petroleum Association (IPA).
- Satyana, A. H. & Purwaningsih, M. E.**, 2003. Geochemistry of the East Java Basin: New Observations on Oil Grouping, Genetic Gas Types and Trends of Hydrocarbon Habitats. Jakarta, Indonesian Petroleum Association (IPA).
- Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., & Asikin, S.**, 2013. The collision of the East Java microplate and its implication for hydrocarbon occurrences in the East Java Basin. Jakarta, Indonesian Petroleum Association (IPA).
- Taufani, L., Fardiansyah, I., Harishidayat, D. & Wibowo, A.**, 2019. Scaling Relationship of Syn-Rift Alluvial-Fluvial Channel System using Outcrop Analogue: Implication and Prediction for Paleogene Reservoir Geobody and Modeling in the Western Sundaland. Jakarta, Indonesian Petroleum Association (IPA).