

## PREDIKSI POROSITAS DENGAN METODA FUZZY LOGIC PADA LOG SUMUR FORMASI TALANG AKAR NON MARINE, NORTH WEST JAVA BASIN

M.F. Hasan<sup>1\*</sup> dan Bochori<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Sriwijaya, Palembang

<sup>2</sup>Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

\*Corresponding author e-mail: [meutiahasan@unsri.ac.id](mailto:meutiahasan@unsri.ac.id)

**ABSTRAK:** Porositas merupakan salah satu parameter fisik batuan reservoir yang digunakan untuk simulasi reservoir migas, baik itu secara statis maupun dinamis. Umumnya, peneliti reservoir dan geologis memprediksi porositas well log dengan metoda neutron-density dan neutron sonic. *Fuzzy logic* adalah salah satu metoda matematis yang dapat diaplikasikan di bidang geosains. Penelitian ini akan memprediksi nilai porositas well log dengan menggunakan metoda *Fuzzy Logic*. Data yang digunakan pada penelitian adalah data *Routine Core Analysis* (RCAL) dan well log dari Lapangan 'Mangga' yang terletak di lepas pantai North West Java Basin, dan bagian dari Formasi Talang Akar Non Marine. Litologi daerah penelitian terdiri atas perselingan batupasir dan batulempung, yang merupakan bagian dari fasies *braided channel*. Input yang digunakan untuk proses *fuzzification* (training data) adalah data porositas RCAL, log Gamma Ray (GR), log Neutron (NPHI), log Density (RHOB) dan log Sonic (DT). Hasil prediksi log porositas *fuzzy logic* lalu diverifikasi dengan data porositas *core* dari Sumur Mangga-2 dan Mangga-5. Perbandingan metoda *fuzzy logic* untuk prediksi porositas terhadap porositas *core* menunjukkan angka koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang cukup baik pada Sumur Mangga-2 dan Mangga-5 yaitu 0,74 dan 0,79. Hal ini menunjukkan bahwa metoda *Fuzzy Logic* dapat digunakan untuk prediksi porositas dengan catatan terdapat cukup data RCAL untuk training data.

Kata Kunci: *fuzzy logic*, porositas, talang akar non marine, *well log*

**ABSTRACT:** Porosity is one of the important physical properties for static and dynamic reservoir simulation. Usually, reservoir engineer and geologist using neutron density and neutron sonic method for predicting porosity. Fuzzy logic is one of mathematic method that widely used for geoscience study. In this paper, Fuzzy logic is used as method for predicting porosity from well log. Routine Core Analysis (RCAL) samples and well log came from 'Mangga' Field, located at offshore ONWJ Basin, and member of Talang Akar Non Marine Formation. The lithology consists of sandstone-shale interbedding, which is part of braided channel facies. Input parameter for fuzzification process (training data) are RCAL porosity data, Gamma Ray (GR) log, Neutron (NPHI) log, Density (RHOB) log and Sonic (DT) log. Result of porosity prediction validate by porosity core data from RCAL data of well Mangga-2 and Mangga-5. The result shows coefficient correlation of 0,74 and 0,79 from Mangga-2 and Mangga-5 well. The result will be better with more RCAL samples for training data.

Keywords: *fuzzy logic*, porosity, non marine talang akar, *well log*

### 1 Pendahuluan

Porositas merupakan salah satu parameter petrofisika batuan reservoir yang penting untuk diprediksi, selain saturasi air dan permeabilitas. Terdapat beberapa metoda untuk menghitung porositas pada well log sumur migas, yaitu metoda neutron-density, neutron-sonic, neutron, density dan sonic. Namun, beberapa penulis mulai mencoba memprediksi sifat fisik batuan dengan metoda machine learning seperti *Fuzzy Logic* dan Neural Network.

Peneliti sebelumnya [1] pertama kali memperkenalkan metoda *Fuzzy Logic* untuk memprediksi lithofacies dan permeabilitas di Lapangan Ula, Norwegia. Hasil penelitian yang cukup baik membuat para geologis dan *reservoir engineer* mulai tertarik menggunakan metoda *Fuzzy Logic* sebagai salah satu pertimbangan disamping metoda saintifik lain yang sudah terbukti secara eksperimen. Lalu peneliti lain [2] melakukan modeling porositas pada daerah Santos Basin (Brazil) dengan

menggabungkan metoda *Fuzzy Logic* dan geostatistik. Studi serupa juga dilakukan [3] pada reservoir karbonat daerah Brazil, dan mendapatkan kombinasi terbaik dalam input *fuzzy* untuk prediksi porositas adalah kombinasi dari log akustik (Sonic-DT) dan gamma ray (GR) log.

Melihat keberhasilan penerapan *Fuzzy Logic* untuk lapangan di luar Indonesia, ada kemungkinan metoda *Fuzzy Logic* juga bisa diaplikasikan untuk prediksi properti petrofisika untuk batuan reservoir di Indonesia. Di Indonesia belum terlalu banyak penulis mengangkat metoda *Fuzzy Logic* untuk memprediksi parameter petrofisika dari batuan reservoir. Tulisan ini akan membahas properti petrofisika dari sumur Mangga-2 dan Mangga-3. Keduanya merupakan sumur di lapangan 'Mangga' (nama lapangan diganti karena berkaitan dengan kerahasiaan data) yang terletak di area *Offshore North West Java Basin*. Pembahasan akan dibatasi pada Formasi Talang Akar Non Marine yang memiliki kecukupan data untuk dilakukan analisis. Diharapkan pembahasan metoda *Fuzzy Logic* untuk prediksi porositas yang akan dibahas di tulisan ini dapat melengkapi referensi metoda dalam prediksi nilai petrofisika batuan reservoir .

## 2 Geologi Regional

Berdasarkan referensi [4], Sub Basin Jatibarang terbentuk pada periode tersier awal, merupakan salah satu dari banyak *rift basin* di Sunda Platform. Sesar regional sepanjang 50 km pada area penelitian menjadi komponen trap pada area "Mangga".

Secara umum, Formasi Talang Akar di ONWJ, baik pada Arjuna Sub-Basin dan Jatibarang Sub-Basin terbagi menjadi tiga unit, yaitu (1) *Lower Talang Akar/ Talang Akar Non Marine*, terdiri atas *braided fluvial sandstone* dan *interfluve mudstone*. (2) *Deltaic Talang Akar*, terdiri atas fluvial dan *deltaic distributary channel, distributary bay, estuarine* dan *coal swamp deposit*. (3) *Marine Talang Akar* terdiri dari estuari luar dan *offshore mudstone* dan karbonat

Menurut penelitian terdahulu [7] bagian bawah dari Formasi Talang Akar terdiri dari *fluvial sandstone* berselingan dengan endapan *overbank* berbutir halus. Sedangkan menurut peneliti lain [4], bagian bawah dari Formasi Talang Akar Non Marine terdiri atas konglomerat dan batupasir, didominasi oleh batuan berbutir kasar, makin keatas berubah menjadi *pebbly sandstone* dan *conglomeratic channel fill*, lebih *mud dominated* dan terdapat selingan batu bara.

Mineralogi dari batupasir di area Talang Akar Non Marine bervariasi bergantung pada posisi stratigrafinya. Perhitungan kualitas reservoir pada batupasir menunjukkan bahwa terdapat perubahan dari porositas 20% dan permeabilitas pada kisaran angka 10 mD pada bagian bawah formasi. Sedangkan pada bagian atas porositas rata-rata 30% dan permeabilitas pada kisaran hanya beberapa milidarcy pada bagian atas. Daerah penelitian adalah bagian *lower* dari Formasi Talang Akar dengan litologi berupa batupasir berbutir halus-kasar, berbutir angular-sub angular, sortasi buruk dengan mineralogi kuarsa kristalin.

## 3 Fuzzy Logic

*Fuzzy Logic*, bisa didefinisikan sebagai logika kabur. Berbeda dengan sistem boolean yang hanya mengenal benar "true" dan "false", atau "1" atau "0", sistem *Fuzzy Logic* bisa mendefinisikan logika samar seperti 0,7 atau 0,5. Sebagaimana di kehidupan manusia, tidak ada yang benar benar mutlak, pengambilan keputusan dengan *Fuzzy Logic* dianggap menyerupai keputusan manusia.

Peneliti sebelumnya [1] menjelaskan bahwa ketika zona "abu-abu" bisa diterima, maka banyak kemungkinan yang bisa kita terima dan jelaskan. Sebagai contoh apabila ada anggapan bahwa batulempung pasti memiliki porositas buruk, sedangkan batupasir memiliki porositas baik. Sehingga ketika kita memiliki sampel batuan dengan porositas sebesar 5%, kita langsung berfikir bahwa pasti batuan tersebut pasti batulempung. Padahal bisa jadi batuan tersebut adalah batupasir dengan tingkat kompaksi tinggi (concave convex contact) atau memiliki kandungan matriks yang tinggi, sehingga porositasnya menjadi 5%.

Inilah keunikan yang bisa diakomodir oleh *Fuzzy Logic*, alih alih hanya menerima hitam dan putih, *Fuzzy Logic* bisa mendefinisikan keabu abuan atau *fuzziness*. *Fuzzy Logic* mengkombinasikan semua kemungkinan dari input data dan memprediksi berdasarkan dari data inputnya. Ketika metoda konvensional berusaha meminimalisir error, maka *Fuzzy Logic* mengambil informasi dari 'error' tersebut.

Pengolahan data pada tulisan ini menggunakan bantuan perangkat lunak untuk analisis well log, dengan prinsip *Fuzzy Logic* sebagai berikut.

- (1) *Training* data akan dibagi menjadi beberapa 'bin' /kelompok data. Pada tiap bin, akan dicatat nilai *Mean* ( $\mu$ ) dan *Standard Deviation* ( $\sigma$ ) dari kurva input yang digunakan untuk prediksi. Kedua nilai

tersebut akan digunakan oleh *software* untuk memprediksi hasil.

- (2) Untuk melakukan prediksi, *software* akan menghitung *fuzzy possibility* sebuah log input termasuk kedalam 'bin' tertentu.

$$P(C_b) = \sqrt{n_b} \times e^{-(C-\mu_b)^2/(2-\sigma^2)} \quad (1)$$

$P(C_b)$  = probabilitas bahwa kurva C adalah bin b

$n_b$  = jumlah sampel bin b

$\mu_b$  = nilai rata rata kurva C untuk bin b

$\sigma_b$  = standar deviasi kurva C untuk bin b

- (3) Probabilitas dari kurva input dikombinasikan menjadi probabilitas total untuk bin b.

$$\frac{1}{P_b} = \frac{1}{P(C1_b)} + \frac{1}{P(C2_b)} + \frac{1}{P(C3_b)} + \dots \quad (2)$$

- (4) Hasil prediksi 'most likely' adalah bin dengan probabilitas paling tinggi/paling akurat dalam memprediksi data kita. Jadi, kurva prediksi yang akan digunakan sebagai hasil dari prediksi Fuzzy Logic adalah kurva hasil "most likely"

Secara teknis, prediksi porositas dengan *Fuzzy Logic* didasarkan pada batuan dengan nilai porositas tertentu memiliki karakteristik pola-nilai log gamma ray (GR), densitas (RHOB), neutron (NPHI) dan sonic (DT) tersendiri. Sebagai contoh, apabila batuan dengan porositas rendah, secara teori akan memiliki karakteristik nilai GR, RHOB, NPHI dan DT yang berbeda dengan karakteristik batuan dengan porositas tinggi.

#### 4 Metodologi Penelitian

Tulisan ini akan menganalisis data dari Sumur Mangga-2 dan Mangga-5, yang terletak di Lapangan 'Mangga', Offshore North West Java Basin (ONWJ). Data yang tersedia adalah data hasil Routine Core Analysis (RCAL) berupa porositas, permeabilitas, dan deskripsi batuan, serta data well log sumur (Tabel 1 dan Tabel 2). Untuk mempersempit lingkup penelitian, proses *training* dan *modelling* data dengan *Fuzzy Logic* hanya dilakukan

pada lapisan Talang Akar Non Marine. Interval Talang Akar Non Marine pada daerah penelitian dicirikan dengan pola log Gamma Ray 'saw teeth/serrated shape' yang mencirikan lingkungan pengendapan fluvial (Gambar 1).

Tahapan penelitian digambarkan pada *flowchart* Gambar 4. Tahapan yang dilakukan adalah,

(1) *Review Literatur*; berupa evaluasi dari beberapa publikasi sebelumnya untuk memahami apa itu metoda *Fuzzy Logic* dan metodologi penelitian yang dilakukan penulis sebelumnya. Setelah hasil *review* literatur, didapatkan kesimpulan bahwa prediksi porositas bisa dilakukan dengan data input dari *well log* dan data *routine core*. Namun tetap harus dipastikan apakah tiap sumur memiliki data input untuk *training* dan verifikasi hasil prediksi porositas. Data tersebut antara lain nilai porositas RCAL, Log Gamma Ray (GR), Log Densitas (RHOB), Log Neutron (NPHI), Log Sonic (DT). Keempat input kurva log tersebut dipilih karena berkaitan dengan metoda konvensional yang digunakan untuk prediksi porositas di log sumur.

(2) Mengecek kelengkapan data sumur yang tersedia; awalnya ada 4 (empat) data sumur yang tersedia di Lapangan 'Mangga'. Setelah dilakukan pengecekan, hanya 2 (dua) sumur yang memiliki data Routine Core Analysis (RCAL) yaitu Mangga-2 dan Mangga-5. Keberadaan data porositas dari RCAL mutlak harus tersedia, karena dalam proses *training* data, diperlukan data pasti dari perhitungan laboratorium (Gambar 2).

(3) Proses *training* data di *software* pengolah data well log. Proses *training* dimulai dengan mengisi jenis kurva input dan kurva yang akan diprediksi (Gambar 3). Pada tulisan ini, kurva yang akan diprediksi adalah kurva Por\_Core. Kurva Por\_Core berisi nilai porositas dari batuan yang diukur pada pengukuran RCAL. Input *fuzzy* untuk memprediksi kurva Pore\_Core adalah kurva GR, RHOB, NPHI dan DT. Alasan mengapa hanya keempat kurva tersebut yang digunakan untuk memprediksi porositas adalah karena mengacu pada penelitian sebelumnya [3,5]. Berdasarkan penelitian keduanya, didapatkan bahwa input kurva GR-RHOB-NPHI-DT pada metoda *Fuzzy Logic* prediksi porositas dan permeabilitas memberikan hasil koefisien korelasi 0,8 dan 0,7.

(4) Verifikasi data kurva prediksi porositas dengan porositas terhitung dari RCAL. Untuk memastikan bahwa data prediksi porositas kita hasilnya mirip dengan porositas dari laboratorium.

(5) Penarikan kesimpulan. Setelah koefisien korelasi ( $R^2$ ) antara porositas *fuzzy* ( $\phi$  *fuzzy*) dan porositas core ( $\phi$  *core*) diketahui maka ditarik kesimpulan apakah *Fuzzy*

Logic akurat/tidak akurat dalam prediksi porositas berdasarkan *input fuzzy* kurva well log. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 1. Ketersediaan data *well log* pada sumur Mangga-2 dan Mangga-5

Jenis Data	Mangga-2	Mangga-5
CALI	✓	✓
GR	✓	✓
SGR	✓	✓
SP	✓	✓
ILD	✓	✓
SFLU		✓
LLD		✓
LLS		✓
MSFL	✓	✓
NPHI	✓	✓
RHOB	✓	✓
DRHO	✓	✓
PEF	✓	✓
DT	✓	✓
Routine Core	✓	✓

Tabel 2. Ketersediaan data Routine Core Analysis pada Sumur Mangga-2 dan Mangga-5

Nama Sumur	Interval		Jumlah Sampel
	Top	Bottom	
Mangga-2	8110	8130	8
	8140	8146	2
	8146	8166	17
	8166	8186	13
Mangga-5	7046	7066	7
	7283	7299	6
	7480	7500	8



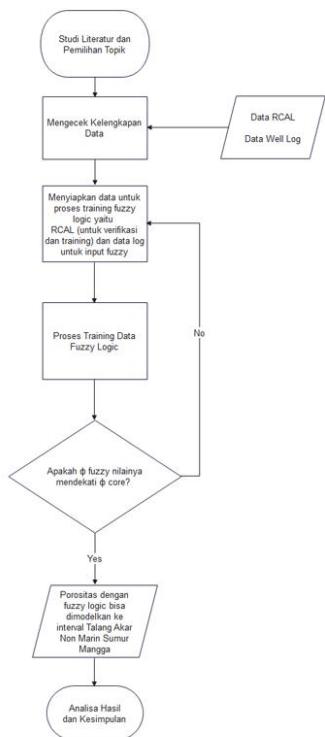
Gambar 1. Pola log Sumur Mangga-2. Kurva Gamma Ray menunjukkan perselingan batupasir dan batulempung. Pola Gamma Ray *serrated* menunjukkan lingkungan pengenapan fluvial.



Gambar 2. Contoh penjabaran ketersediaan data pada Sumur Mangga-2. Terlihat pada sumur memiliki kurva log densitas, neutron, sonic untuk training data porositas serta porositas dari RCAL untuk verifikasi hasil training.

	Use	Default	Log	Well	Well
Curve	Name			1	2
Well Name	→	↓		(2) Mangga-5	
Curve to Predict	→	✓ Por_Core	✓ Por_Core		
Input Curve 1	→	✓ GR	GR		
Input Curve 2	→	✓ RHOB	RHOB		
Input Curve 3	→	✓ NPHI	NPHI		
Input Curve 4	→	✓ DT	DT		
Input Curve 5	→				
Input Curve 6	→				
Input Curve 7	→				
Input Curve 8	→				
Input Curve 9	→				
Input Curve 10	→				
Input Curve 11	→				
Input Curve 12	→				
Input Curve 13	→				
Input Curve 14	→				
Input Curve 15	→				
Input Curve 16	→				
Input Curve 17	→				
Input Curve 18	→				
Input Curve 19	→				
Input Curve 20	→				
Use Well	→	for Model Build			✓
Top Interval		for Model Build	7000		
Bottom Interval		for Model Build	8000		
Use Well	→	for Model Run			✓

Gambar 3. Proses Training dan Verifikasi prediksi kurva porositas dengan metoda *Fuzzy Logic* pada software pengolahan data well log.



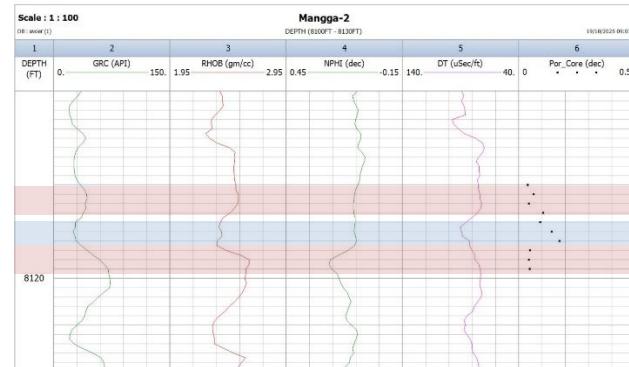
Gambar 4. Bagan alir pelaksanaan prediksi porositas dengan *Fuzzy Logic*.

## 5 Hasil dan Pembahasan

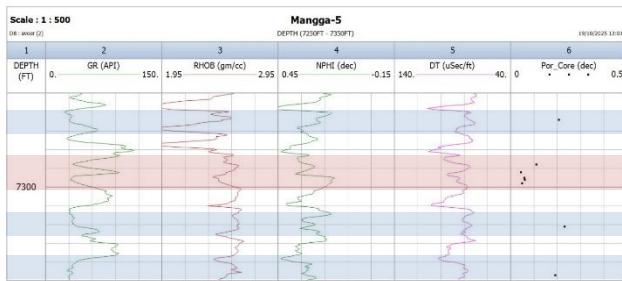
Sumur Mangga-2 memiliki interval porositas *core* antara 0,017 – 0,187 dengan mean 0,092 yang tersebar pada kedalaman 8110-8185 ft. Sumur Mangga-5 memiliki interval porositas *core* antara 0,044-0,297 dengan mean 0,1497 tersebar pada kedalaman 7206 – 7495 ft.

Tahapan pertama dalam memproses data adalah mengisi jenis kurva input dan kurva yang akan diprediksi. Sesuai dengan literatur review, maka kurva yang akan kita prediksi adalah porositas (Por\_Core). Kurva yang akan kita input untuk memprediksi kurva porositas adalah GR, RHOB, NPHI dan DT.

Sistem *Fuzzy Logic* akan memprediksi nilai porositas dengan mempelajari rentang nilai tiap kurva dari data yang tersedia. Sebagai contoh seperti pada Gambar 5, pada Mangga-2 didapatkan pola bahwa pada sampel dengan  $\phi$  *core* yang nilainya tinggi (diatas 0,15) diketahui memiliki pola log dimana nilai GR rendah (indikasi *clean sandstone*) RHOB rendah (densitas rendah, karena keberadaan pori), NPHI tinggi dan DT rendah. Namun ternyata pada Mangga-5 polanya menjadi berbeda (Gambar 6) diketahui bahwa pada dua interval batupasir dengan nilai GR rendah, ada interval yang memiliki nilai  $\phi$  *core* rendah (zona orange), ada juga yang  $\phi$  *core* tinggi (zona biru). Oleh karena itu hasil training *Fuzzy Logic* Mangga-2, tidak bisa diaplikasikan pada Mangga-5.



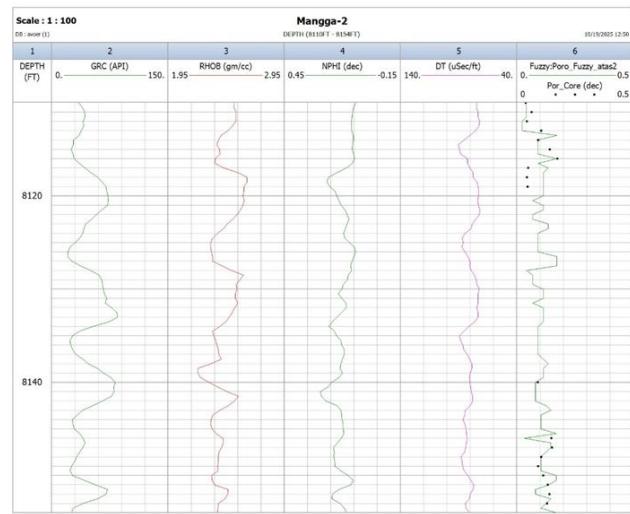
Gambar 5. Gambar 5 Zona orange menunjukkan daerah berporositas rendah dengan pola log GR tinggi, RHOB tinggi, NPHI rendah dan DT cenderung naik. Sedangkan area berporositas sedang (zona biru) memiliki nilai GR rendah, RHOB rendah, NPHI relatif naik dan DT rendah.



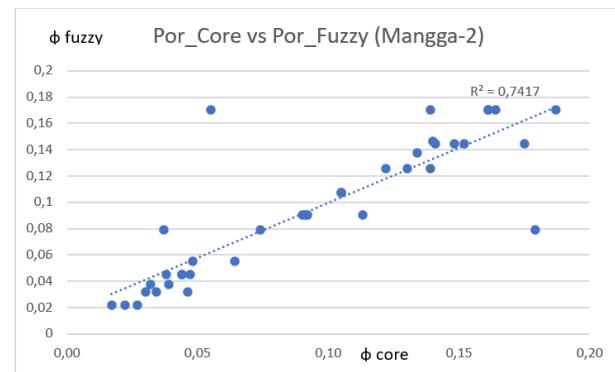
Gambar 6. Sumur Mangga 5 memiliki karakteristik yang berbeda dengan Sumur Mangga 2. Pada Sumur Mangga 5, karakteristik interval berporositas tinggi (zona biru) masih sama dengan sumur Mangga 2. Namun pada di Sumur 5 juga terdapat lapisan batupasir yang memiliki porositas redah (zona orange).

Diputuskan bahwa prediksi porositas pada *uncored interval*, harus berasal dari training data sumur yang sama. Sehingga *training data* pada Mangga-2 dilakukan pada interval yang memiliki data  $\phi$  core yaitu kedalaman 8110-8166 ft. Hasil training *fuzzy* pada interval tersebut, akan digunakan untuk memprediksi nilai porositas pada interval *uncored* (tidak memiliki data  $\phi$  core) Formasi Talang Akar Non Marine Mangga-2. Hasil prediksi pada Mangga-2 dapat dilihat pada Gambar 7. Terlihat bahwa input *Fuzzy Logic* log GR-RHOB-NPHI-DT dapat memprediksi nilai porositas *core* dengan cukup baik, walaupun masih ketidak akuratan di interval 8115-8120 ft. Hal ini diperkirakan karena kurang banyaknya data *training*  $\phi$  core untuk mempelajari pola log dan memprediksi nilai porositas pada Mangga-2. Selain itu, kemungkinan *Fuzzy Logic* agak lemah dalam memprediksi perubahan porositas tiba-tiba dalam interval yang terlalu pendek. Koefisien korelasi antara  $\phi$  core dan  $\phi$  fuzzy pada Mangga-2 menunjukkan angka 0,74 (Gambar 8).

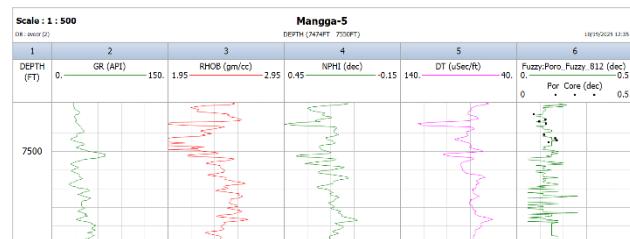
Hasil prediksi pada Mangga-5 dapat dilihat pada Gambar 9. Terlihat bahwa input *Fuzzy Logic* log GR-RHOB-NPHI-DT dapat memprediksi nilai porositas core dengan cukup baik pada Mangga-5 dibanding Mangga-2. Koefisien korelasi antara  $\phi$  core dan  $\phi$  fuzzy pada Mangga-5 menunjukkan angka 0,79 (Gambar 10). Angka ini mirip dengan penelitian sebelumnya [2], yang menunjukkan angka koefisien korelasi 0,65-0,79 untuk metoda sejenis.



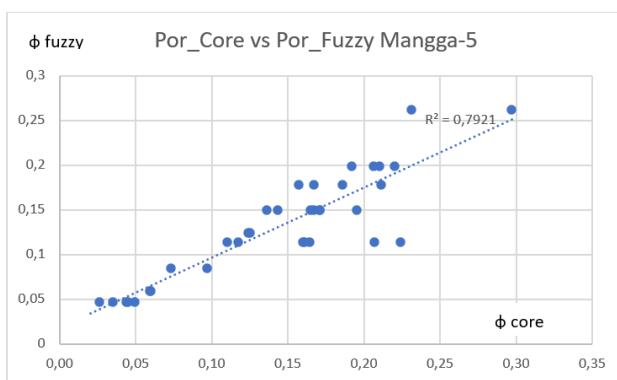
Gambar 7. Hasil prediksi porositas *fuzzy logic* pada Mangga-2. Terlihat mayoritas kurva prediksi terverifikasi sesuai dengan nilai porositas *core*, walaupun beberapa tidak tepat.



Gambar 8. Verifikasi hasil prediksi porositas dengan *fuzzy logic* menunjukkan koefisien korelasi sebesar 0,74 dibandingkan dengan porositas *core* pada Mangga-2.



Gambar 9. Hasil prediksi porositas *fuzzy logic* pada Mangga-5. Kurva prediksi porositas terverifikasi sesuai dengan nilai porositas core.



Gambar 10. Verifikasi hasil prediksi porositas dengan *fuzzy logic* menunjukkan koefisien korelasi sebesar 0,74 dibandingkan dengan porositas core pada Mangga-5.

## 6 Kesimpulan

Terdapat beberapa kesimpulan yang bisa ditarik dari penelitian diatas, antara lain;

(1) Prediksi porositas dengan *fuzzy logic* dapat dilakukan apabila ketersediaan data well log dan hasil RCAL (Routine Core Analysis) tersedia pada interval formasi yang hendak diprediksi, dengan catatan di poin selanjutnya.

(2) Batasan dalam penelitian adalah porositas batuan yang diprediksi harus berada pada satu *rock type/facies* pengendapan/formasi yang sama dengan formasi data verifikasi yaitu data RCAL.

(3) Prediksi porositas dengan *fuzzy logic* dapat dilakukan pada Sumur Mangga-2 dan Mangga-5, dengan *input* dan *training* data berupa  $\phi$  core dari data RCAL dan well log GR-RHOB-NPHI-DT.

(4) Hasil koefisien korelasi ( $R^2$ ) antara  $\phi$  core dan  $\phi$  fuzzy pada Mangga-2 dan Mangga-5 adalah 0,74 dan 0,79. Menandakan bahwa pada lapisan Formasi Talang Akar Non Marine di Lapangan Mangga, prediksi porositas dengan metoda Fuzzy Logic dapat diaplikasikan dengan baik.

## Daftar Pustaka

- [1] S. Cuddy dan P. Glover, “The Application of Fuzzy Logic and Genetic Algorithms to Reservoir Characterization and Modeling,” *SPWLA 38th Annual Logging Symposium*, 1997.

- [2] L. G. Garcia, V. Lôndero, A. C. Fredere, M. Cardoso Jr., A. S. da Silveira dan J. M. M. T. Oliveira, “Tridimensional porosity modeling through fuzzy logic and geostatistics,” *Geoenergy Science and Engineering*, 2024.
- [3] A. Carrasquilla dan H. Rocha, “Porosity estimates in an Albian carbonate reservoir in Southeastern Brazil using Basic Well Logs, Core Sample Measurement, and Fuzzy Logic Approach,” *Journal of South American Earth Science*, 2025.
- [4] A. Dorojatun, A. Kusnin, M. Hutabarat, R. K. Suchecki dan S. G. Pemberton, “Geological Reservoir Heterogeneity Of Talang Akar Depositional System In The Jatibarang Sub Basin, Offshore NW Java, Indonesia,” dalam *Indonesia Petroleum Association*, 1996.
- [5] I. S. Nashawi dan A. Malallah, “Improved Electrofacies Characterization and Permeability Predictions in Sandstone Reservoirs Using a Data Mining and Expert System Approach,” *Petrophysics – The SPWLA Journal of Formation Evaluation and Reservoir Description*, pp. 250-268, 2009.
- [6] A. M. Abadi, A. H. Lukmana, A. W. Sugiyarto dan H. V. Amalia, “Determining of Water Saturation Using Fuzzy Logic Method in Mirah-1 Well, Central Sumatra Basin of Indonesia,” *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, pp. 46-58, 2020.
- [7] R. Young dan C. Atkinson, “A review of Talang Akar Formation (Oligo-Miocene) reservoirs in the offshore areas of Southeast Sumatra and Northwest Java,” dalam *Proc. Indon. Petrol. Assoc., Clastic Rocks and Reservoirs of Indonesia: A Core Workshop*, 1993.
- [8] Z. Abidin, I. S. Pratama, Muhtadan, K. T. Putra, O. A. A. Alzebar, D. Oktavianto dan W. Nugroho, “Development of Application for Identification of Hydrocarbon Prospect Zone In Well Logging Based on Fuzzy Logic,” dalam *2nd International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS)*, Yogyakarta, 2022.

- [9] D. Bosch, J. Ledo dan P. Queralt, “Fuzzy Logic Determination of Lithologies from Well Log Data: Application to the KTB Project Data set (Germany),” *Survey In Geophysics*, vol. 34, pp. 413-439, 2013.