

INTERPRETASI SESAR BERDASARKAN ATRIBUT *SIMILARITY* DAN *CURVATURE* DI LAPANGAN F3 *NETHERLANDS*

Nadea Arie Saragih^{1*}, Faizar Farid², Juventa¹

¹Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi – Muara Bulian Km. 15 36361, Jambi, Indonesia.

²Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi – Muara Bulian Km. 15 36361, Jambi, Indonesia.

*Corresponding author. Email: deeyes476@gmail.com

Manuscript received: 11 June 2021; Received in revised form: 28 February 2022; Accepted: 8 April 2022

Abstrak

Lapangan F3 Cekungan *Southern North Sea Netherlands* merupakan lapangan minyak dan gas yang memiliki struktur patahan dan stratigrafi yang kompleks akibat adanya pergerakan kompresional tektonik selama era Kapur Akhir dan Tersier. Informasi keberadaan patahan dapat bertindak sebagai perangkap atau migrasi yang kemudian sangat berpengaruh pada produksi minyak dan gas serta proses injeksi. Analisa atribut seismik *similarity* dan *curvature* digunakan untuk interpretasi keberadaan struktur patahan untuk memperoleh informasi keberadaan patahan bawah permukaan lapangan F3 *Netherlands*. Interpretasi hasil kalkulasi atribut *similarity* memperlihatkan patahan ditandai dengan nilai minimum *similarity* 0,77, 0,68 dan 0,66 pada sayatan waktu $Z = 400\text{ms}$, 1700ms dan 1800ms . Nilai maksimum *most post positive curvature* mempresentasikan adanya blok patahan naik dan nilai maksimum *most negative curvature* mempresentasikan adanya blok patahan turun pada sayatan waktu yang sama. Berdasarkan kalkulasi atribut *similarity* dan *curvature* dapat diinterpretasi patahan besar pada *Top Zechstein* hingga *Upper Pliocene* dan keterdapatan patahan beruntun pada *Top Zechstein* hingga *Base Lower Cretaceous* yang merupakan patahan akibat terbentuknya intrusi kubah garam *Zechstein*.

Kata Kunci: Cekungan *Southern North Sea*; *Curvature*; F3 *Netherlands*; *Similarity*.

Abstract

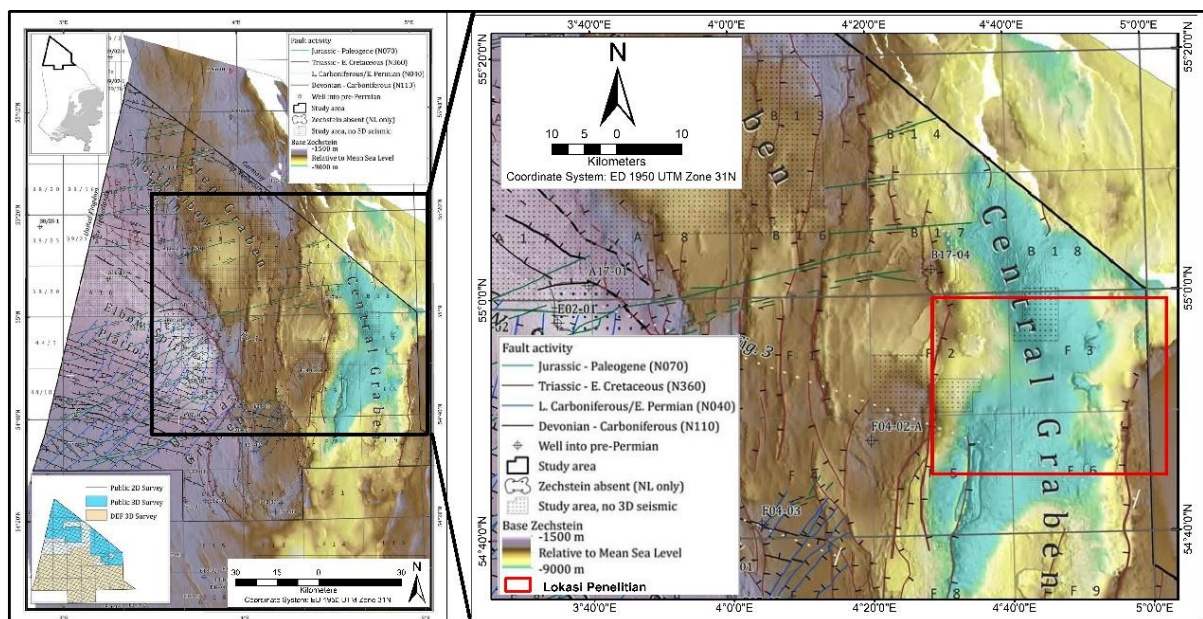
F3 Southern North Sea Netherlands Basin field is an oil and gas field that has a complex fault structure and stratigraphy due to compressional tectonic movements during the Late Cretaceous and Tertiary eras. Information on the presence of faults can act as a trap or migration which then greatly affects oil and gas production and the injection process. A seismic attribute analysis of similarity and curvature was used to interpret the presence of fault structures to obtain information on the presence of subsurface faults in the F3 Netherlands field. The interpretation of the similarity attribute calculation results shows that the faults are marked with a minimum similarity value of 0.77, 0.68, and 0.66 at the time slices $Z = 400\text{ms}$, 1700ms , and 1800ms . The maximum value of most post-positive curvature represents the presence of an ascending fault block and the maximum value of the most negative curvature represents the presence of a descending fault block at the same time incision. Based on the similarity and curvature attribute calculations, it can be interpreted that the major faults in Top Zechstein to Upper Pliocene and the presence of successive faults on Top Zechstein to Base Lower Cretaceous are faults due to the formation of the Zechstein salt dome intrusion.

Keywords: Curvature; F3 *Netherlands*; Similarity; Southern Basin North Sea.

Pendahuluan

Lapangan F3 (ditunjukkan oleh persegi hitam pada Gambar 1) merupakan lapangan minyak dan gas yang berada pada Cekungan *Southern North Sea Netherlands*. Cekungan ini mengalami pengembangan struktural dan pengendapan yang didominasi oleh *rifting* pada era Mesozoik dengan fase *post-rift sag* Kenozoikum dan beberapa pergerakan

kompresial tektonik selama era Kapur Akhir dan Tersier (Laban, 1995). Massa es yang terdapat pada sebagian besar wilayah *Netherlands* berasal dari Skandinavia dan Inggris, hanya area 52°30'LS yang tidak ditemukan massa es tersebut. Pasokan es ini mempengaruhi sesar yang sudah ada sebelumnya dan pergerakan tektonik garam (Cameron and Ziegler, 1997).



Gambar 1. Area studi lapangan F3 (Ter Borgh et al., 2019).

Informasi keberadaan jebakan atau perangkap hidrokarbon (sesar) menjadi perhatian utama dalam dunia eksplorasi. Sesar dapat bertindak sebagai perangkap hidrokarbon atau sebagai migrasi hidrokarbon. Minyak dan gas yang terbentuk pada *source rock* akan mengalami migrasi ke batuan reservoir yang terbentuk akibat adanya sesar, maka dari itu keberadaan sesar sangat mempengaruhi produksi minyak dan gas serta mempengaruhi proses pemboran (Alfredo and Sulistyanto, 2015).

Informasi keberadaan sesar dapat dilakukan dengan melakukan interpretasi pada data seismik dan memanfaatkan atribut geometri yaitu *similarity* dan *curvature* (Tingdahl, 2003). Atribut *curvature* dan *similarity* meningkatkan fitur stuktur lebih jelas dan

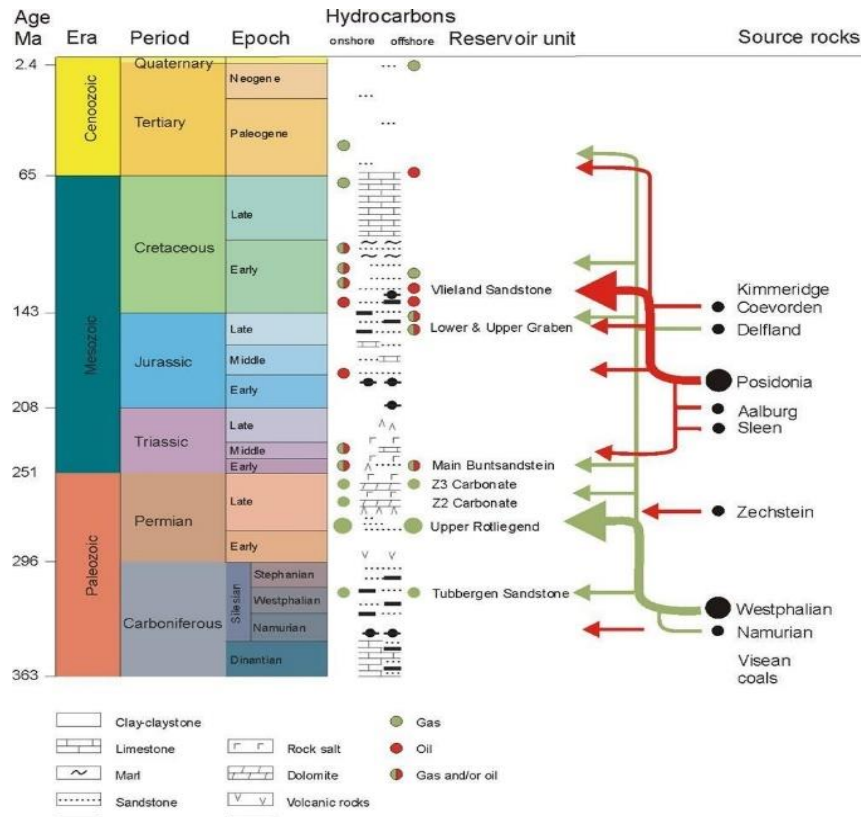
memetakan patahan kecil dan rekahan di bawah resolusi data seismik, sehingga mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi dan memetakan sesar pada set data seismik yang lebih luas (Nielsen 1920; Marcus 1932). Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan interpretasi menggunakan atribut-atribut tersebut untuk mengetahui keberadaan sesar pada Lapangan F3 Cekungan *Southern North Sea Netherlands*.

Geologi F3 Netherlands

F3 adalah sebuah blok di kawasan *Southern North Sea Netherlands*, merupakan bagian dari cekungan *North Sea*. Lapangan F3 adalah lapangan yang sudah dilakukan akuisisi seismik 3D untuk eksplorasi minyak dan gas yang terbentuk pada kurun

waktu antara *Jurassic* sampai *Cretaceous* (Sørensen *et al.*, 1997; Overeem *et al.*, 2001). Pengembangan struktural dan pengendapan yang didominasi oleh *rifting* dari era *Mesozoic* dengan fase *post-rift sag Cenozoic* dan beberapa pergerakan

kompresional tektonik selama kurun waktu Kapur Akhir dan Tersier menyebabkan lapangan F3 memiliki struktur patahan besar dan struktur stratigrafi yang kompleks (Schroot and Haan, 2003).



Gambar 2. Sistem hidrokarbon bawah permukaan North Sea (de Jager and Geluk, 2007).

Berdasarkan sistem hidrokarbon bawah permukaan *North Sea* pada Gambar 2. Keberadaan batuan sumber utama untuk minyak terdapat pada Formasi *Posidonia shale*, berada pada era *Mesozoic*. *Posidonia shale* kemudian terakumulasi ke dalam beberapa bagian reservoir utama di Formasi *Vieland sandstone*. Ini menjadi sebuah *channel* yang terletak pada kurun waktu awal *Cretaceous*. Keberadaan batuan sumber utama untuk gas terdapat pada Formasi *Westphalian coals*, berada pada era *Paleozoic*. *Westphalian coals* kemudian juga terakumulasi ke dalam beberapa bagian reservoir utama di Formasi *Vieland sandstone* dan terlihat sebagai hidrokarbon dangkal. *Petroleum system* daerah penelitian secara jelas dapat dilihat pada Gambar 2 (panah merah dan

hijau) menunjukkan asal *source rock* yang berasosiasi dengan reservoir minyak/ gas (de Jager and Geluk, 2007).

Sumber tambahan untuk minyak terjadi di bawah *Jurassic Aalburg* dan Formasi *Triassic Sleen* paling atas. Sumber ini memiliki tipe yang mirip dengan *Posidonia shale*, tetapi kurang potensial. Batuan sumber lain untuk minyak terjadi di Permian *Z2 Carbonate* dan *Coppershale*. Sementara banyak minyak menunjukkan karbonat *Zechstein* ditemukan selama pengeboran. Kedua sumber ini telah memberikan kontribusi hanya secara lokal ke terlalu banyak akumulasi (yaitu *Stadskanaal*, *Gieterveen* dan *E13-1*). Ini bukan hanya karena ketebalannya yang terbatas, tetapi juga karena minyak dari

batuan sumber yang terjebak di *reservoir Zechstein* atau *Rotliegend* memiliki peluang besar untuk terbawa keluar oleh kelimpahan gas berikutnya gas dari *Westphalian* (Cameron and Ziegler, 1997).

Atribut *Curvature*

Atribut *curvature* mengukur seberapa lengkung struktur sesar dan lipatan mengalami kelengkungan tertentu, berdasarkan turunan kemiringan struktur. Struktur *curvature* biasa digunakan untuk memahami struktur dengan kompleks (sesar dan rekahan) dan memperhatikan *footwall* dan *hanging-wall* pada setiap sesar. Sifat atribut *curvature* sensitif terhadap perubahan sudut sehingga jika sebuah struktur mengalami deformasi akan memiliki perubahan sudut kelengkungan sehingga dapat dihitung nilai *curvature*. Ketika gelombang seismik menyentuh bidang batas maka akan terpantul kembali ke permukaan. Bidang batas yang mengalami kelengkungan memiliki laju perubahan sudut ($d\omega$) terhadap panjang busur (dS) yang merupakan jari-jari kelengkungan (R). Maka nilai *curvature* dapat dinyatakan sebagai:

$$K = \frac{d\omega}{dS} = \frac{2\pi}{2\pi R} = \frac{1}{R} \quad (1)$$

Apabila kelengkungan sebuah garis semakin besar maka semakin besar nilai *curvature* dan sebaliknya (Nielsen 1920; Marcus 1932).

Similarity

Similarity membandingkan bentuk gelombang seismik yang berdekatan menggunakan teknik seperti korelasi silang, kemiripan dan pengukuran struktur eigen setelah menganalisis kemiringan dan azimuth. Secara sederhana atribut ini mengukur derajat kemiripan diantara dua atau lebih tras seismik. *Similarity* mengukur kemiripan dari dua segmen tras seismik $u(x,y,t)$ (Tinghdal, 2003). *Output* dari atribut *similarity* berkisar antara 0 dan 1. 0 mengacu pada minimum kesamaan jejak dan 1 mengacu pada kesamaan jejak

maksimum (Kumar and Sain+, 2018). *Similarity* (S) diantara dua segmen pada (x_a, y_a) dan (x_b, y_b) , pada waktu t dapat dinyatakan sebagai

$$S = 1 - \frac{|a-b|}{|a|+|b|} \quad (2)$$

dengan

$$a = \begin{bmatrix} u(x_A, y_A, t + t_1) \\ u(x_A, y_A, t + t_1 + dt) \\ u(x_A, y_A, t + t_2 - dt) \\ u(x_A, y_A, t + t_2) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$b = \begin{bmatrix} u(x_B, y_B, t + t_1) \\ u(x_B, y_B, t + t_1 + dt) \\ u(x_B, y_B, t + t_2 - dt) \\ u(x_B, y_B, t + t_2) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Similarity dengan nilai mendekati 1 adalah segmen tras seismik yang mengidentifikasi gelombang dengan kemiripan identik. *Similarity* dengan nilai mendekati 0 mengartikan tidak ada kemiripan segemen tras seismik (Tingdahl and de Rooij, 2005).

Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode seismik atribut yang diterapkan pada data daerah penelitian yang terdiri dari data seismik *Migration F3 North Sea Netherlands* dengan *inline* berjumlah 650 yaitu 100-750 dan *crossline* berjumlah 950 yaitu 300-1250 menggunakan *software* OpendTect. Interval pencuplikan sampel (*sample rate*) 4 ms dalam format SEG-Y. Metode seismik atribut dapat dideskripsikan sebagai semua informasi dari data seismik mencakup besaran spesifik dari geometri, kinematika, dinamika, atau statistik. Atribut juga didefinisikan sebagai sifat kuantitatif dan deskriptif data seismik yang dapat ditampilkan dalam skala yang sama dengan data aslinya (Brown, 2004).

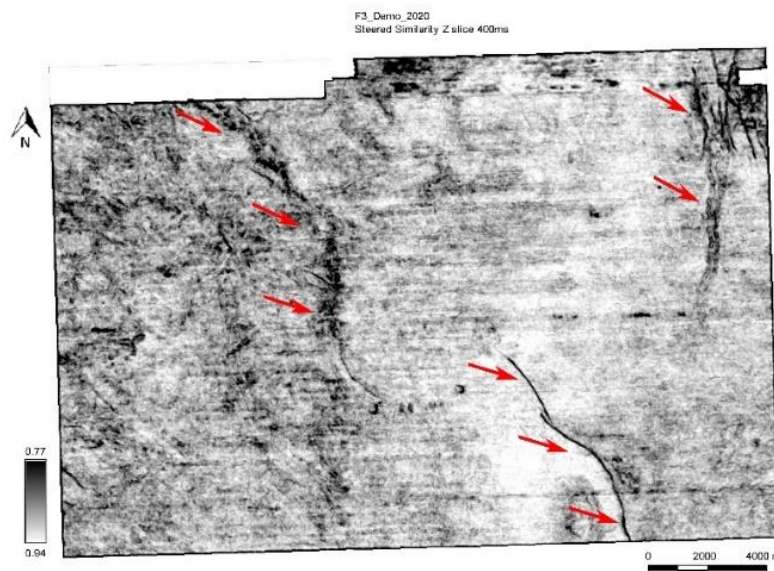
Metode dimulai dengan membuat *steering cube dip* pada setiap *inline* dan *crossline* dari volume amplitudo seismik. Algoritma gradien *phase steering* dikembangkan oleh

BG berdasarkan analisis gradien data amplitudo dalam domain horizontal dan vertikal. Algoritma BG digunakan untuk menghitung *dip* dalam sub-volume kecil. Karena Algoritma BG sensitif terhadap noise, diaplikasikan filter median pada *steering cube* yang sudah dibuat. *Steering cube* sebagai dasar untuk memfilter volume seismik yang berorientasi struktural, meningkatkan atribut *multi-trace* dan dalam pembuatan atribut *curvature* nantinya. Pada proses ini, *steering cube* dengan filter median menjadi dasar untuk kalkulasi atribut *similarity* dan volume seismik *steering* BG sebagai data input untuk melakukan kalkulasi atribut *curvature* dan respon kalkulasi atribut akan ditampilkan pada sayatan waktu permukaan dengan struktur yang lebih jelas.

Hasil dan Pembahasan

Atribut *similarity* menggunakan teknik korelasi silang, kemiripan dan pengukuran setelah menganalisis kemiringan dan *azimuth* tras segmen seismik untuk mengidentifikasi gelombang amplitudo

tidak identik dan gelombang amplitudo identik. Berdasarkan Gambar 3 memperlihatkan respon atribut *similarity* pada sayatan waktu $Z = 400\text{ms}$ dari volume *similarity*. Nilai *similarity* tinggi mendekati 1 adalah tras segmen seismik yang mengidentifikasi gelombang dengan amplitudo identik dan nilai *similarity* lebih rendah hingga mendekati nol menghasilkan gelombang yang tidak identik. Respon nilai gelombang tras segmen seismik yang berbeda diakibatkan adanya perbedaan kemiringan dan azimuth yang dapat diidentifikasi bahwa terdapat blok lapisan yang mengalami deformasi atau perubahan struktur yang kemudian dapat diinterpretasi sebagai sesar naik atau turun. Pada sayatan waktu $Z = 400\text{ms}$ dari volume *similarity*, nilai maksimum *similarity* 0,94 dan nilai *similarity* minimum 0,77 ditunjukkan oleh garis berwarna hitam yang memperlihatkan bahwa terdapat lapisan yang mengalami deformasi dan kemudian dapat diidentifikasi sebagai sesar. Sesar ini mengalami kemenerusan dari *Top Zechstein* hingga *Upper Pliocene*.



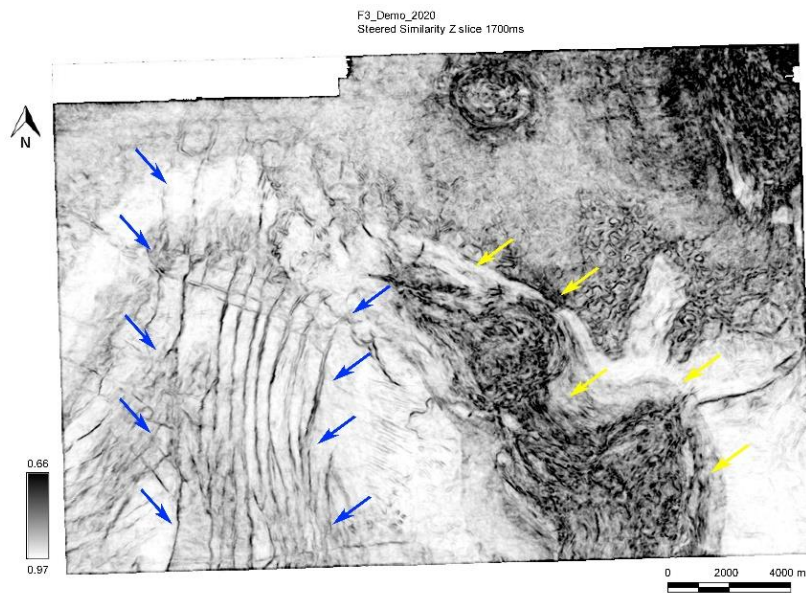
Gambar 3. Peta sayatan waktu *similarity* $Z=400\text{ms}$.

Berdasarkan Gambar 4 pada peta sayatan waktu $Z = 1700\text{ms}$ memiliki nilai maksimum *similarity* 0,97 dan memperlihatkan beberapa lapisan mengalami deformasi dengan nilai

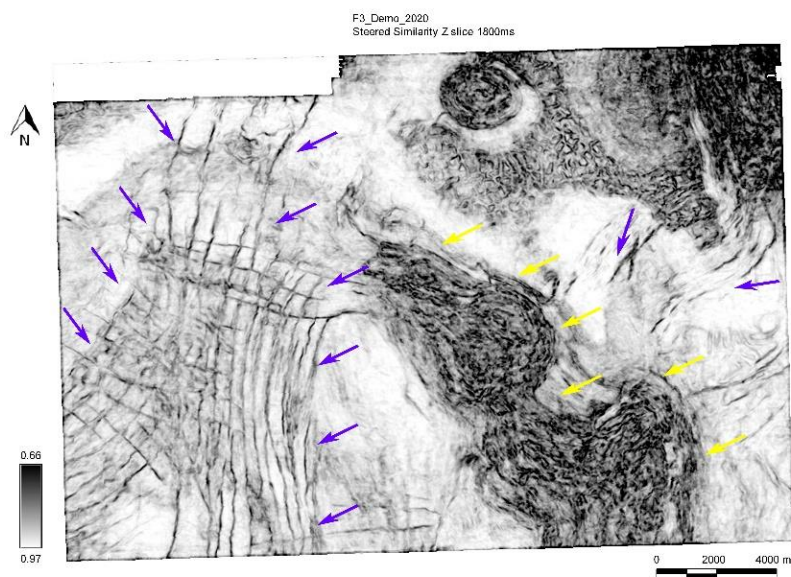
similarity 0,66 yang ditunjukkan oleh garis berwarna hitam yang memperlihatkan lebih detail dari tras segmen seismik dengan gelombang amplitudo yang berbeda yang dapat diidentifikasi sebagai sesar beruntun.

Sedangkan pada blok *similarity* yang tidak ditunjukkan dengan garis berwarna hitam memperlihatkan adanya perbedaan tras segmen seismik tidak identik dengan luasan yang besar yang dapat diinterpretasikan

bahwa blok lapisan tersebut merupakan lapisan yang berbeda dari sekitarnya dan mengalami deformasi dalam skala luas atau dapat diinterpretasikan sebagai intrusi.



Gambar 4. Peta sayatan waktu *similarity* Z=1700ms.



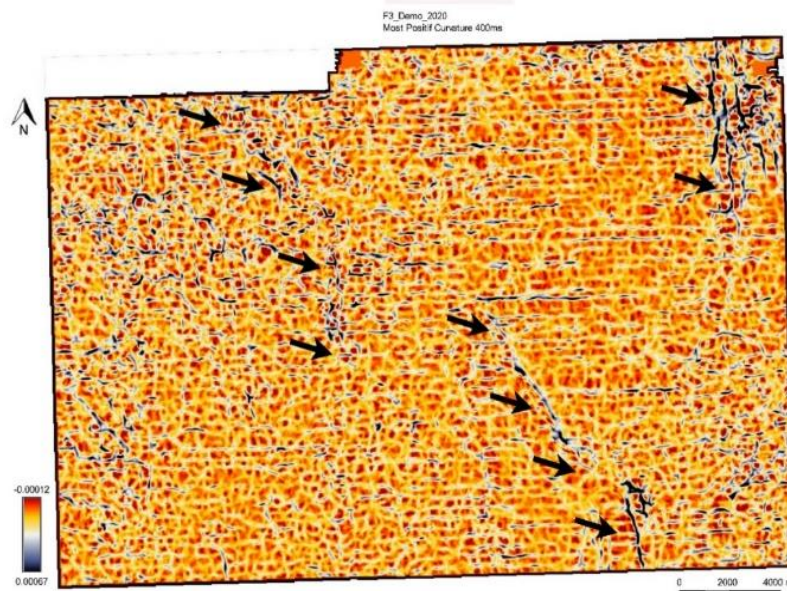
Gambar 5. Peta sayatan waktu *similarity* Z=1800ms.

Kemudian deformasi atau pun sesar yang teridentifikasi pada sayatan waktu Z = 1700ms dapat dilihat trendnya bertambah dan lebih detail pada sayatan waktu Z = 1800ms dengan nilai maksimum *similarity* yang sama yakni nilai maksimum 0,97 dan minimum 0,66. Adanya penambahan panjang trend diakibatkan gelombang amplitudo masih teridentifikasi tidak

identik pada sayatan waktu Z = 1800ms yang terlihat pada Gambar 5. Pada gelombang tidak identik yang ditunjukkan oleh garis berwarna hitam dengan trend yang lebih tipis dan memanjang diinterpretasikan sebagai sesar, sedangkan untuk gelombang tidak identik yang tidak ditandai dengan garis hitam merupakan blok lapisan dalam skala luas yang

merupakan lapisan yang berbeda dari sekitarnya dan dapat diinterpretasikan sebagai intrusi. Intrusi ini terlihat juga pada sayatan waktu $Z = 1700\text{ms}$. Apabila ditinjau berdasarkan geologi regional maka blok tersebut merupakan intrusi kubah

garam pada Formasi *Zechstein* yang menyebabkan terbentuknya sesar-sesar yang mengalami kemenerusan pada *Top Zechstein* hingga *Base Lower Cretaceous* di sekitar zona intrusi.



Gambar 6. Peta sayatan waktu *most positive curvature* $Z=400\text{ms}$.

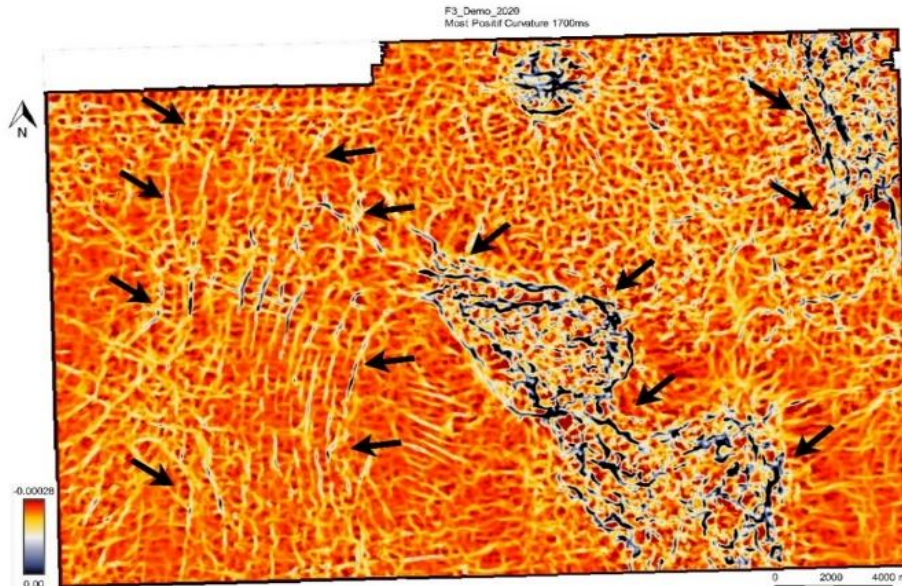
Most positive dan *negative curvature* berasal dari semua *curvature* normal untuk melakukan kalkulasi nilai *positive curvature* dan *negative curvature*. *Most positive curvature* tinggi mengindikasikan adanya blok sesar yang naik dan nilai *most negative curvature* tinggi mengindikasikan blok sesar turun. Atribut *curvature* mengukur seberapa lengkung struktur mengalami deformasi baik patahan, lipatan atau bentuk deformasi lainnya yang mengalami kelengkungan tertentu, berdasarkan turunan kemiringan struktur. Dikarenakan *positive curvature* cenderung mendefinisikan antiklin dan *negative curvature* mendefinisikan siklin, blok sesar yang naik dan turun dapat dibedakan dengan melihat struktur simetris dari struktur yang asimetris. Gambar 6 memperlihatkan *positive curvature* yang ditampilkan pada sayatan waktu $Z = 400\text{ms}$. Tanda garis berwarna hitam menunjukkan maksimum *most positive curvature* bernilai 0,00067.

Sebaran nilai kelengkungan yang tinggi menunjukkan adanya perbedaan kuat kemiringan struktur dengan lapisan di sekitarnya yang mengindikasikan terjadinya deformasi penyebab berubahnya sudut kemiringan. Pada sayatan waktu $Z=400\text{ms}$ terdapat sebaran kelengkungan tinggi yang ditunjukkan oleh garis berwarna hitam dengan nilai *most positive curvature* yang mengidentifikasi adanya blok yang mengalami sesar.

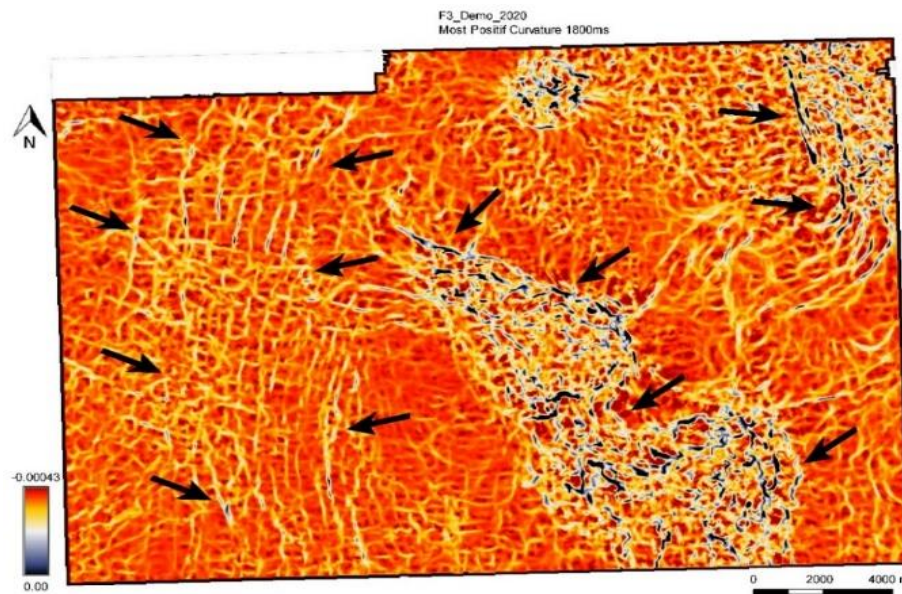
Struktur geologi sering menunjukkan kelengkungan dengan panjang gelombang berbeda, dan kelengkungan yang memiliki panjang gelombang berbeda dapat memberikan perspektif yang berbeda dari geologi yang sebenarnya sama. Terlihat pada Gambar 7, peta sayatan waktu *most positive curvature* $Z=1700\text{ms}$. Nilai *most positive curvature* tinggi memperlihatkan panjang gelombang pendek yang kemudian dapat dilihat bahwa kelengkungan maksimum dengan nilai 0,00 dengan gelombang pendek ini memiliki deliniasi dengan nilai kelengkungan berbeda.

Perbedaan nilai kelengkungan ini akan memberikan perspektif bahwa deformasi yang ditunjukkan oleh panah berwarna hitam merupakan struktur yang mengalami deformasi berbeda karena memiliki

kelengkungan berbeda. Namun pada analisisnya deformasi tersebut dapat diidentifikasi sebagai struktur geologi yang sama yakni sesar, namun memiliki perbedaan sudut kemiringan.



Gambar 7. Peta sayatan waktu *most positive curvature* $Z= 1700\text{ms}$.



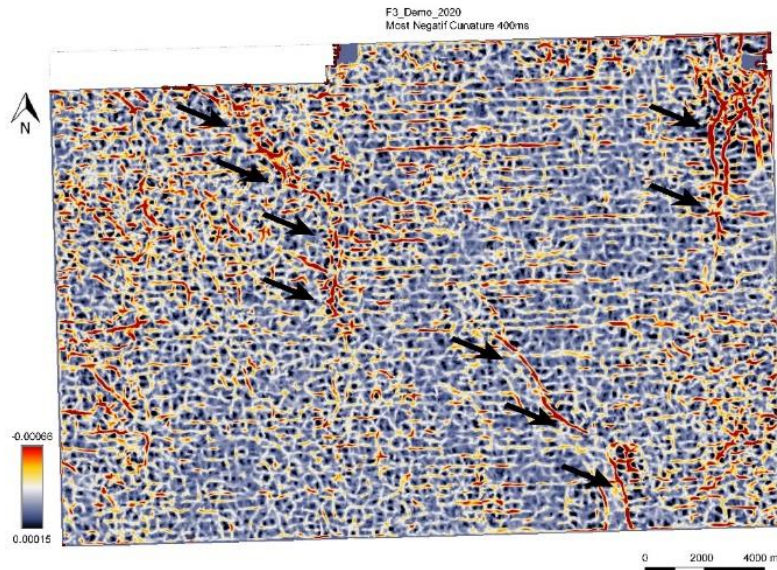
Gambar 8. Peta sayatan waktu *most positive curvature* $Z= 1800\text{ms}$.

Peta sayatan waktu $Z= 1800\text{ms}$ pada Gambar 8 memperlihatkan bertambahnya *trend most positive curvature* tinggi mengindikasikan adanya blok sesar yang naik yang dapat diidentifikasi beberapa sesar yang terdeteksi yang ditunjukkan oleh panah berwarna merah. *Most positive curvature* tinggi ini mengindikasikan adanya blok yang mengalami sesar naik.

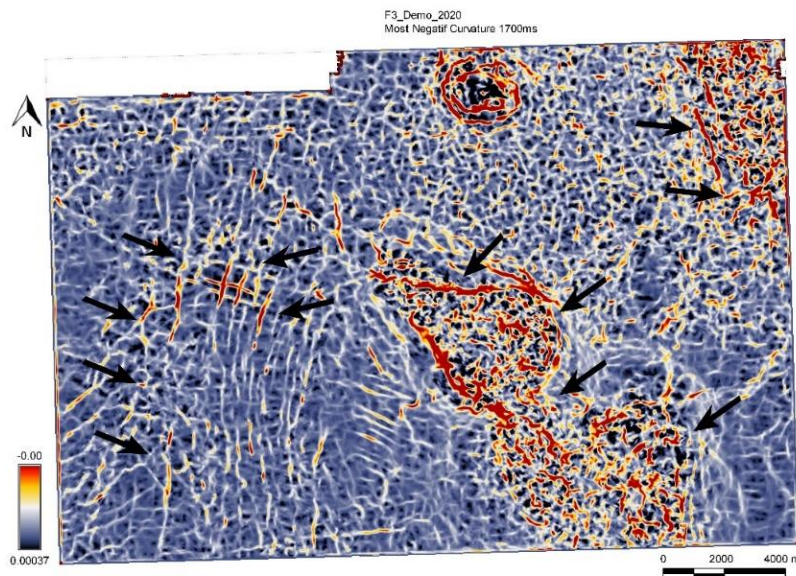
Sama halnya dengan atribut *similarity*, pada atribut *curvature* ini dapat terlihat bahwa terdapat blok yang memiliki nilai kelengkungan berbeda dari sekitarnya yang memperlihatkan intrusi dari kubah garam pada Formasi *Zechstein*. Sedangkan sebaran nilai kelengkungan tinggi yang terdapat pada peta sayatan waktu $Z= 400\text{ms}$, 1700ms dan 1800ms yang tidak

ditandai dengan garis hitam menggambarkan rekahan yang tidak terlokalisasi yang dapat diakibatkan oleh

sesar di sekitarnya ataupun depresi akibat perubahan diagenesis.



Gambar 9. Peta sayatan waktu *most negative curvature* $Z= 400\text{ms}$.



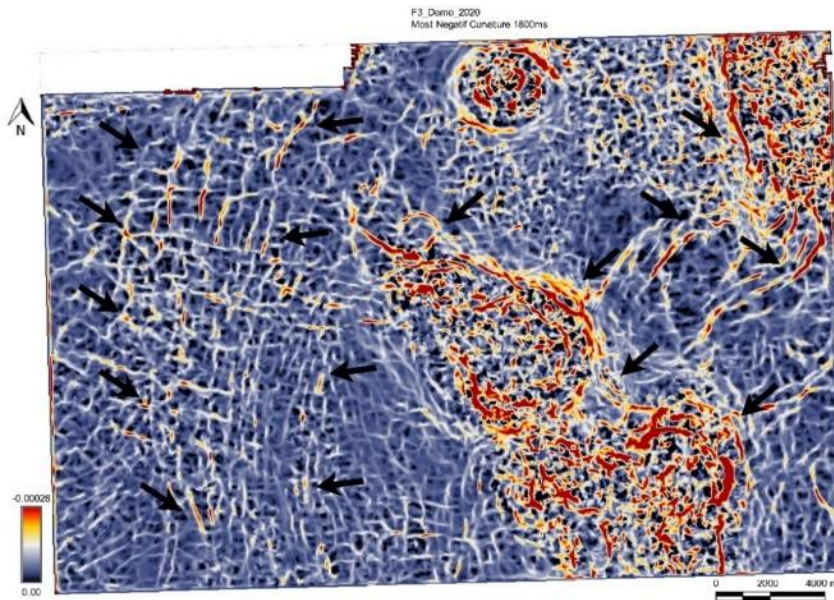
Gambar 10. Peta sayatan waktu *most negative curvature* $Z= 1700\text{ms}$.

Pada atribut *curvature most negative curvature* yang dilakukan sayatan pada waktu yang sama dengan *most positive curvature* yakni $Z= 400\text{ms}$ pada Gambar 9, 1700ms pada Gambar 10 dan 1800ms pada Gambar 11. Pada sayatan waktu *most negative curvature* $Z= 400\text{ms}$ maksimum kelengkungan bernilai $0,00015$ yang memperlihatkan blok turun dari sesar naik yang sudah teridentifikasi sebelumnya pada *most positive curvature*. Pada sayatan waktu *most negative curvature* $Z= 1700\text{ms}$

dengan nilai maksimum kelengkungan $0,00037$ yang mengindikasikan adanya blok turun dan $Z= 1800\text{ms}$ yang memperlihatkan kemenerusan blok yang turun pada patahan tersebut lebih detail panjang *trend*-nya bertambah. Sayatan waktu *most negative curvature* $Z= 1800\text{ms}$ merupakan sesar dengan nilai maksimum kelengkungan $0,00$ yang mengindikasikan adanya blok pada waktu 1800ms ini masih menjadi bagian sesar yang terdeteksi pada sayatan waktu $Z=1700\text{ms}$. Sesar-sesar

beruntun ini tidak terdeteksi mengalami kelengkungan dikarenakan nilai maksimum *most negative curvature* bernilai nol yang berarti menunjukkan *zero curvature*. Perbedaan hasil analisa hasil atribut *most positive curvature* dan *most negative curvature* menunjukkan bahwa nilai

maksimum *positive curvature* tinggi mengidentifikasi struktur yang mengalami naik dan nilai *most negative curvature* tinggi mengidentifikasi adanya blok yang ataupun akibat adanya sesar atau pun deformasi lainnya.



Gambar 11. Peta sayatan waktu *most negative curvature* $Z=1800\text{ms}$.

Kesimpulan

Interpretasi keberadaan sesar pada Lapangan *F3 Netherlands* terdeteksi dengan nilai *similarity* minimum 0,66 dan maksimum 0,97 dengan nilai *most positive curvature* maksimum 0,00067 dan *most negative curvature* maksimum 0,00037. Kemenerusan sesar dapat diinterpretasikan berada pada *Top Zechstein* hingga *Upper Pliocene* dan terdapat sesar beruntun pada *Top Zechstein* hingga *Base Lower Createceous* yang merupakan sesar akibat terbentuknya intrusi kubah garam *Zechstein*.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DGB *Earth Science, Netherlands* yang telah memberikan akses publik dalam penggunaan data *F3 Netherlands* sebagai bahan penelitian. Terimakasih kepada Tenaga Pendidik Program Studi Teknik Geofisika Universitas Jambi karena sudah

menyediakan *software* berlisensi *OpenTect* yang penulis gunakan sebagai *software* pengolahan data.

Daftar Pustaka

- Alfredo, A. and Sulistyanto, D. 2015. *Analisis Sifat Patahan (Sealing-leaking) Berdasarkan Data Tekanan, Decline Curve, dan Connectivity Injection pada Lapangan Dima*. In: Seminar Nasional Cendekiawan 2015, Jakarta, Indonesia, pp.116-125 <https://media.neliti.com/media/publications/171439-ID-analisis-sifat-patahan-sealing-leaking-b.pdf>
- Brown, A.R. 2004. *Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data* (6th Edition). Memoir 42. American Association of Petroleum geologists, Tulsa, OK, USA.
- Cameron, N. and Ziegler, T. 1997. *Probing the lower limits of a fairway: further pre-Permian potential in the southern North Sea*. Geological Society

- (London) Special Publication 123: 123–141.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.123.01.08>
- de Jager, J. and Geluk, M.C. 2007. *Petroleum Geology*. Geology of the Netherlands. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Amsterdam, 241, p.264.
- Kumar, P.C. and Sain, K. 2018. *Attribute amalgamation-aiding interpretation of faults from seismic data: An example from Waitara 3D prospect in Taranaki basin off New Zealand*. Journal of Applied Geophysics. 159, pp. 52-68.
<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.07.023>
- Laban, C. 1995. *The Pleistocene glaciations in the Dutch sector of the Southern North Sea. A synthesis of sedimentary and seismic data*. Ph.D. thesis, University of Amsterdam.
https://www.researchgate.net/publication/241874061_The_Pleistocene_glaciations_in_the_Dutch_sector_of_the_North_Sea_A_synthesis_of_sedimentary_and_seismic_data
- Marcus, H. 1932. *Die Theorie elastischer Gewebe und ihre Anwendung auf die Berechnung biegsamer Platten unter besonderer Berücksichtigung der trägerlosen Pilzdecken*. Berlin: Springer.
- Nielsen, N.J. 1920. *Bestemmelse af spændinger i plader ved anvendelse af differensligninger*. Copenhagen: Gad.
- Overeem, I., Weltje, G.J., Bishop-Kay, C. and Kroonenberg, S.B. 2001. *The Late Cenozoic Eridanos delta system in the Southern Southern North Sea Basin: a climate signal in sediment supply*. Basin Research. 13, pp.293–312. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.2001.00151.x>
- Sørensen, J.C., Gregersen, U., Breiner, M. and Michelsen, O. 1997. *High-frequency sequence stratigraphy of Upper Cenozoic deposits in the central and southeastern Southern North Sea areas*. Marine and Petroleum Geology. 14(2), pp.99-123. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(96\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(96)00052-9)
- Schroot, B.M. and Haan, H.B. 2003. *Intra-Carboniferous tectonics of the Southern Southern North Sea Basin*. In: Fifteenth International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy, August 10-16 Utrecht, abstract no. 319, p. 479-480.
- Tingdahl, K. M., 2003. *Improving seismic chimney detection using directional attributes*, in: Nikarvesh, M., Aminzadeh, F., Zadeh, L.A, (eds.) *Soft Computing and Intelligent Data Analysis in Oil Exploration*, Developments in Petroleum science. 51, pp. 157-173.
[https://doi.org/10.1016/S0376-7361\(03\)80013-4](https://doi.org/10.1016/S0376-7361(03)80013-4)
- Tingdahl, K. and de Rooij, M. 2005. *Semi-automatic detection of faults in 3D seismic data*. Geophysical Prospecting. 53, pp. 533-542.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.2005.00489.x>