



Karakterisasi Reservoar Berdasarkan Analisis Inversi Seismik Impedansi Akustik dan Multiatribut Seismik, Studi Kasus: Lapangan Bunyu Tapa, Cekungan Tarakan, Kalimantan Utara

Zalfadhiyaa Faariz Taqiy¹, Warto Utomo², Muhammad Shidqii³, Adi Susilo¹

¹ Universitas Brawijaya,

Jl. Veteran No.10-11, Ketawanggede, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia.

² Program Studi Teknik Perminyakan, Institut Teknologi Petroleum Balongan,

Jl. Soekarno Hatta, Pekandangan, Kecamatan Indramayu, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat 45216, Indonesia.

³ PT. Bunyu Tapa Energi,

Jl. H. R. Rasuna Said No.6 Lantai IX, RT.6/RW.4, East Kuningan, Setiabudi, Jakarta Selatan, 12950, Indonesia.

ABSTRAK

Artikel Info:

Naskah diterima

21 Oktober 2025

Diterima setelah
perbaikan

17 November 2025

Disetujui terbit

30 Desember 2025

Kata Kunci:

karakterisasi reservoar
inversi seismik berbasis
model
impedansi akustik
multiatribut seismik
cekungan tarakan

Cekungan Tarakan merupakan salah satu cekungan hidrokarbon utama di Kalimantan Utara yang berkembang dalam sistem deltaik dengan kompleksitas struktur dan heterogenitas reservoar yang tinggi. Salah satu permasalahan utama pada Lapangan Bunyu Tapa adalah ketidakmenerusan lateral batupasir reservoar akibat pengaruh lingkungan pengendapan *fluvial-delta plain* serta aktivitas tektonik Pliosen hingga Pleistosen, sehingga diperlukan pendekatan karakterisasi reservoar berbasis data seismik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi reservoar pada interval Intra Bunyu, bagian dari Formasi Bunyu, menggunakan metode inversi seismik impedansi akustik dan *multiatribut* seismik yang terintegrasi dengan data petrofisika sumur. Hubungan regresi linear antara impedansi akustik dan porositas digunakan untuk memprediksi sebaran porositas secara lateral, sementara pendekatan *multiatribut* dan *neural network* diterapkan sebagai metode pembanding. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zona Top Intra Bunyu merupakan interval reservoar potensial dengan nilai impedansi akustik 3200–4800 ((m/s)*(g/cc)) dan porositas berkisar antara 5–35%. Persebaran porositas yang tidak homogen dikontrol oleh kombinasi faktor lingkungan pengendapan dan aktivitas tektonik yang menyebabkan segmentasi reservoar. Studi ini memberikan kontribusi terhadap pemahaman karakteristik reservoar dangkal di Cekungan Tarakan dan dapat mendukung pengembangan lapangan hidrokarbon di wilayah tersebut.

ABSTRACT

The Tarakan Basin is one of the main hydrocarbon basins in North Kalimantan, developed within a deltaic system with high structural complexity and reservoir heterogeneity. One of the main problems in the Bunyu Tapa Field is the lateral discontinuity of the reservoir sandstone due to the influence of the fluvial-delta plain depositional environment and Pliocene to Pleistocene tectonic activity, thus requiring a seismic data-based reservoir characterization approach. This study aims to characterize the reservoir in the Intra Bunyu interval, part of the Bunyu Formation, using acoustic impedance seismic inversion and seismic multi-attribute methods integrated with well petrophysical data. The linear regression relationship between acoustic impedance and porosity is used to predict the lateral distribution of porosity, while the multi-attribute and neural network approaches are applied as comparative methods. The results show that the Top Intra Bunyu zone is a potential reservoir interval with acoustic impedance values of 3200 – 4800 ((m/s)(g/cc)) and porosity ranging from 5 – 35%. The heterogeneous porosity distribution is controlled by a combination of depositional environment and tectonic activity factors that cause reservoir segmentation. This study contributes to the understanding of shallow reservoir characteristics in the Tarakan Basin and can support hydrocarbon field development in the region.*

Copyright © 2025 by Authors, Published by LEMIGAS

Korespondensi:

E-mail: zalfadhiyaafaariz@gmail.com Zalfadhiya Faariz Taqiy

PENDAHULUAN

Evaluasi formasi dilakukan dengan tujuan untuk memetakan reservoir, mengukur cadangan hidrokarbon, dan memprediksi jumlah hidrokarbon yang dapat diekstraksi. Salah satu metode evaluasi formasi adalah dengan melakukan *well logging* dan analisis seismik. *Well logging* melibatkan analisis respon alat logging, yang disajikan dalam kurva log *triple combo* (*log gamma ray*, *log SP*, *log caliper*, *log resistivitas*, *log neutron*, *log densitas*, *log sonic*, dan *log photoelectric*).

Secara umum, reservoir yang dapat diproduksi merupakan batupasir dengan nilai gamma ray rendah, resistivitas tinggi, dan keberadaan crossover antara log densitas dan log neutron (Zaemi dkk., 2022). Metode geofisika seismik

adalah alat efektif untuk mempelajari struktur bawah permukaan dan karakterisasi reservoir. Analisis inversi impedansi akustik dapat menghasilkan model 2D/3D dari data seismik, yang membantu memperkirakan sifat reservoir seperti porositas dan saturasi fluida (Rizqi, M. I., & Firdaus, R. 2021).

Namun, metode ini memiliki keterbatasan resolusi. Untuk mengatasinya, penelitian ini menggunakan pendekatan multiatribut seismik yang menggabungkan beberapa atribut seismik, meningkatkan resolusi karakterisasi reservoir. Pendekatan ini memungkinkan pemodelan hubungan non-linier antara atribut seismik dan sifat reservoir, dan dapat dilatih menggunakan data sumur yang ada untuk menghasilkan model prediksi untuk lokasi lain (Aziz & Setiawan 2016).

Gambar 1 menunjukkan fisiografi dan konfigurasi tektonik Cekungan Tarakan dengan potensi yang signifikan dalam pembentukan dan pematangan minyak dan gas bumi, berkat kombinasi kondisi geologinya yang kompleks. Cekungan ini juga didominasi oleh lapisan sedimen yang bervariasi, termasuk batuan pasir dan karbonat, yang berfungsi sebagai reservoir bagi hidrokarbon. Selain itu, keberadaan *growth faults* atau patahan listrik di Sub-cekungan Tarakan menciptakan struktur geologi yang berperan sebagai jebakan hidrokarbon.

Gambar 2 menunjukkan kolom stratigrafi regional Cekungan Tarakan. Cekungan Tarakan terdiri dari Formasi Sembakung yang terendapkan pada masa Eosen Tengah hingga Formasi Bunyu yang terendapkan pada masa Pleistosen. Formasi Tabul secara regional terbentuk karena adanya progradasi delta, bagian atas dari Formasi Tabul dibedakan menjadi unit yang berbeda, yaitu Formasi Santul. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi batupasir, lempungan, dan lapisan batubara hasil deposit dari delta front – delta plain pada Miosen Akhir. Lapisan batubara pada Formasi Santul berinteraksi dengan batupasir, lempungan, dan napal dengan tebal lapisan batupasir berkisar 2 – 25 m.

Formasi Tarakan ditandai dengan meningkatnya batupasir dan lapisan batubara dengan perselingan serpih dan batulempung. Batas bawah dari Formasi Tarakan ditandai dengan lapisan tebal batubara. Unconformity pada Formasi Tarakan terdapat pada bagian atas dan bawah dari Formasi Tarakan offshore maupun onshore.

Formasi Bunyu terdiri dari batupasir, lempungan, dan lapisan lignite. Formasi ini terendapkan pada masa transgresi, terjadi pada masa Pleistosen yang mewakili lingkungan pengendapan *fluvial – delta plain*. Formasi ini hanya ditemukan pada Sub-Cekungan Tarakan.

Peristiwa tektonik utama di Pulau Bunyu terjadi pada *Pliesen-Pleistosen*, dengan fase pelipatan dan erosi yang menghasilkan ketidakselarasan di atas Formasi Tarakan. Setelah pengendapan Formasi Bunyu, fase tektonik kedua mengangkat dan memiringkan pulau. Pengikisan membentuk dua teras, dengan permukaan teras yang lebih tua pada

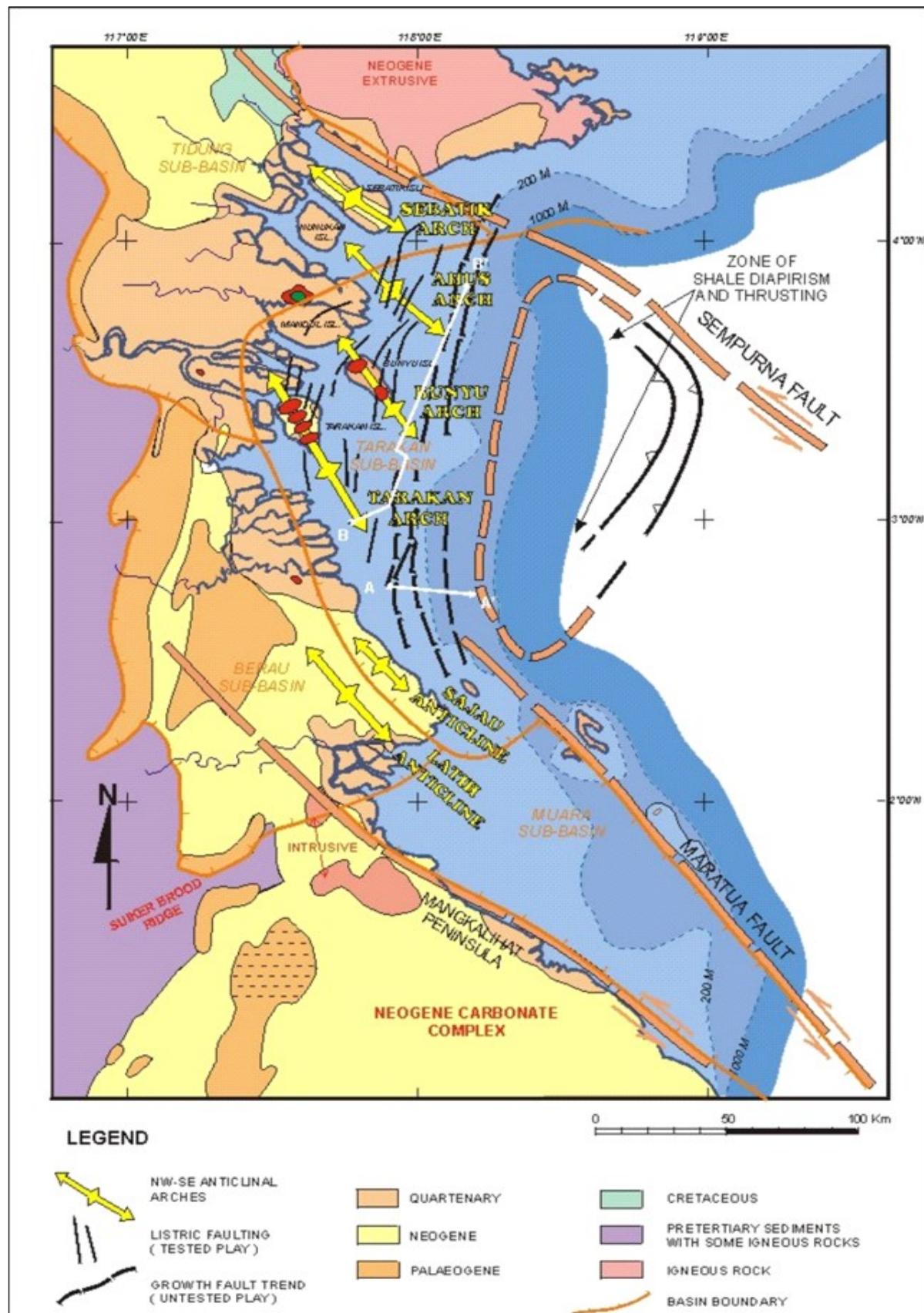
ketinggian sekitar 100 meter dan yang lebih muda hanya beberapa meter di atas permukaan laut. Pulau ini menunjukkan pengangkatan baru-baru ini ke arah barat daya, dengan teras potong gelombang baru di garis pantai timur laut dan lembah sungai tenggelam di barat daya, yang menyebabkan berkembangnya daerah rawa.

Indeks pertumbuhan yang tidak sempurna diamati pada sesar-sesar yang terletak di dekat Pulau Bunyu, diduga terpengaruh aktivitas pengangkatan struktur (*uplifting*) pada Pliesen sehingga mengerosi sebagian besar sedimen sesar tumbuh. Pengangkatan struktur yang terjadi pada Pliesen membentuk perangkap hidrokarbon sekaligus memberikan pasokan sedimentasi baru hasil erosi ke sesar tumbuh di sekitarnya yang akan sangat berpotensi bagi kegiatan eksplorasi (Maulin dkk., 2021).

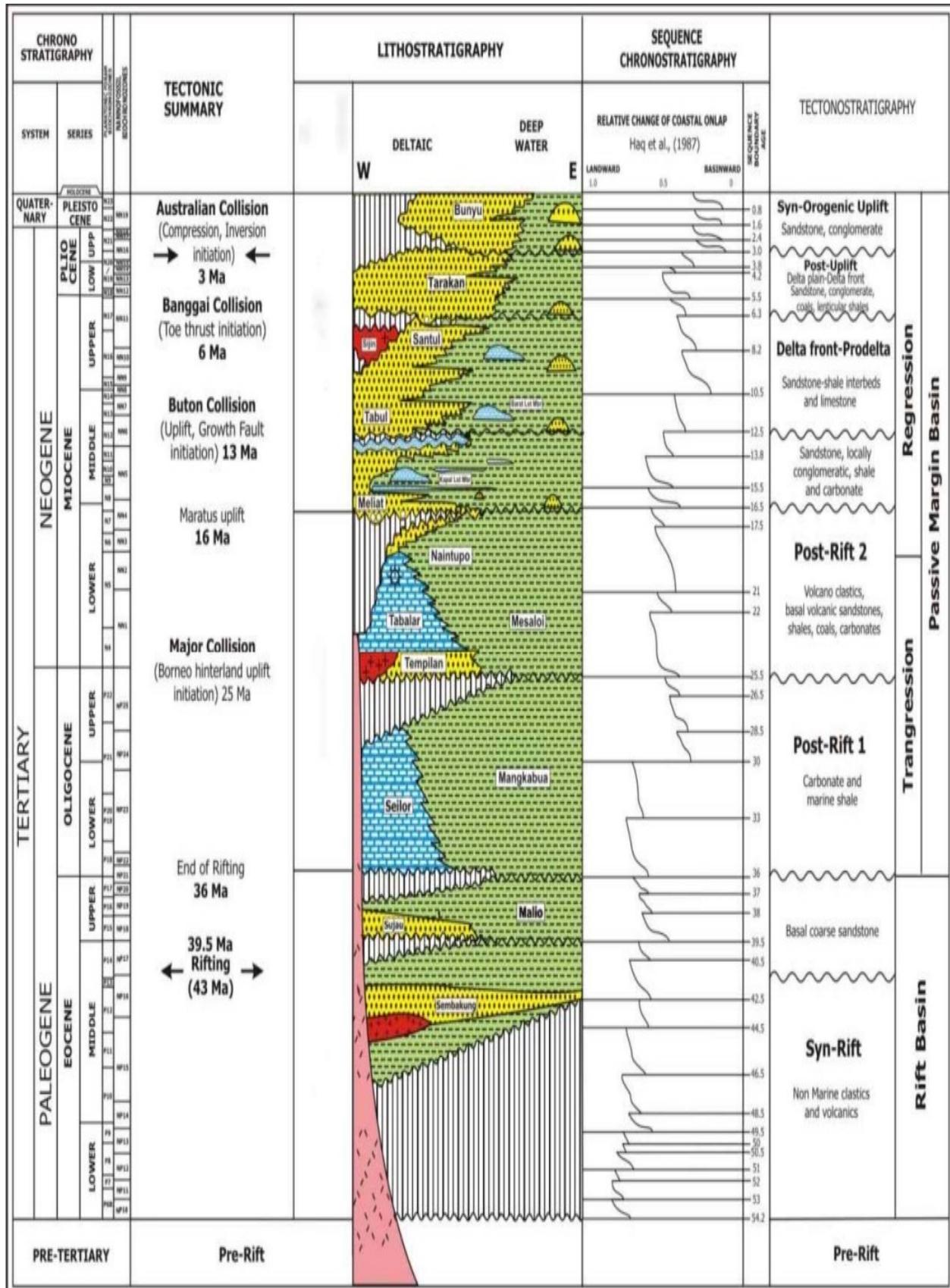
Patahan ini sering kali dapat mengubah arah aliran hidrokarbon dan membentuk perangkap yang efektif, seperti antiklin dan struktur stratigrafi. Oleh karena itu, kombinasi dari sumber bahan organik yang melimpah, reservoir yang sesuai, dan struktur jebakan yang dibentuk oleh aktivitas *growth faults* menjadikan cekungan Tarakan sebagai area yang sangat potensial untuk eksplorasi dan produksi energi hidrokarbon (Biantoro dkk., 1996).

Formasi Bunyu menyumbang ±30% dari total produksi yang dilakukan pada lapangan Bunyu Tapa. Berdasarkan data biostratigrafi dan zonasi *foraminifera*, daerah penelitian memiliki 3 jenis kategori zona. Zona pertama diidentifikasi sebagai Barren Zone I, dicirikan dengan tidak adanya foraminifera dan diinterpretasikan diendapkan pada lingkungan dataran *fluvial-upper delta plain*.

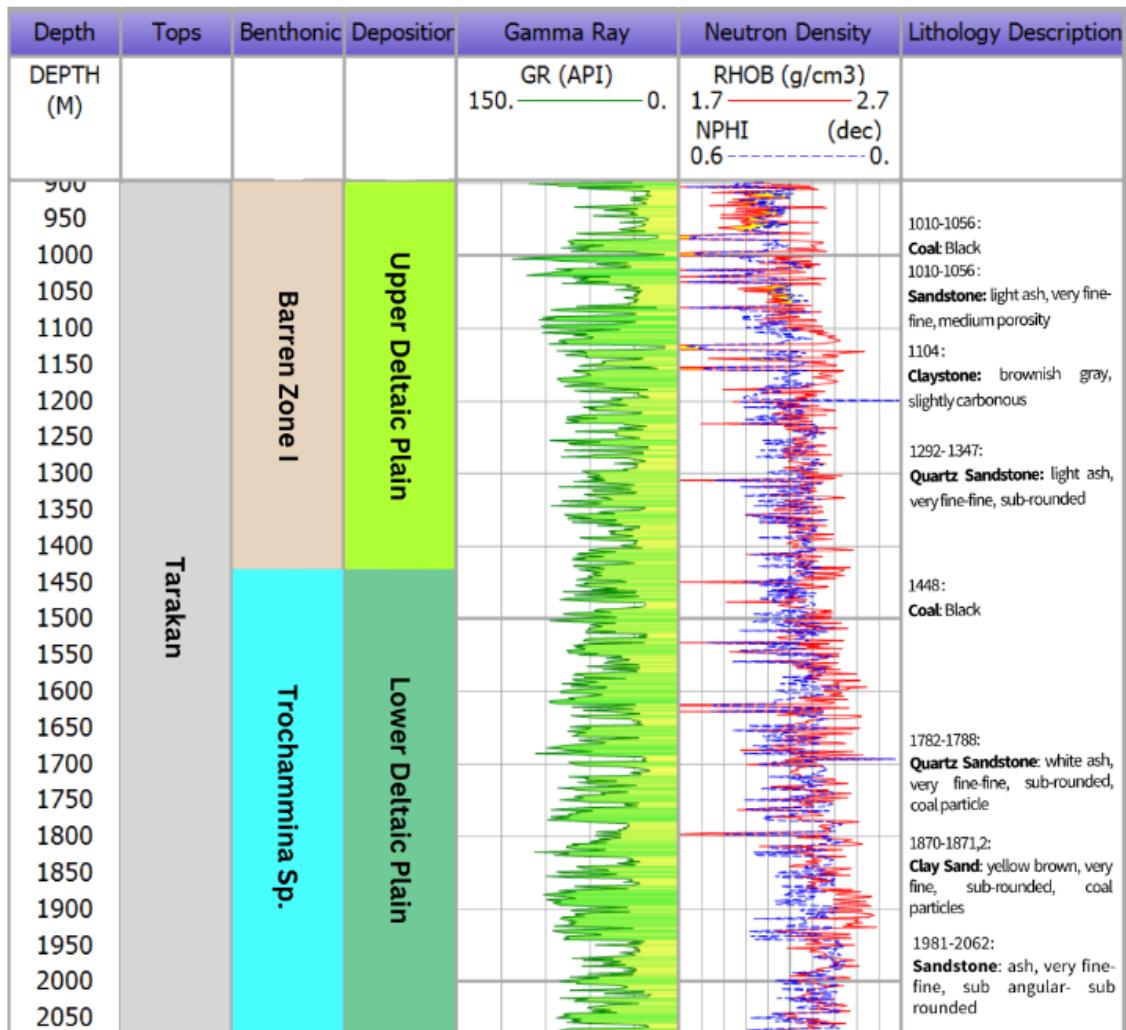
Zona kedua dicirikan oleh kelimpahan fosil *Trochammina* sp dan *Haplophragmoides* sp. dan ditafsirkan diendapkan pada lingkungan dataran lower delta plain yang ditunjukkan pada Gambar 3. Zona ketiga, disebut sebagai Barren Zone II, diasosiasikan dengan endapan dari bagian *delta front* (Barkah dkk., 2024). Reservoir pada Top Intra Bunyu terdiri dari batupasir tebal yang membentang sepanjang Formasi Bunyu, meskipun kadang tidak kontinu akibat lingkungan pengendapan dan pengaruh peristiwa tektonik pada



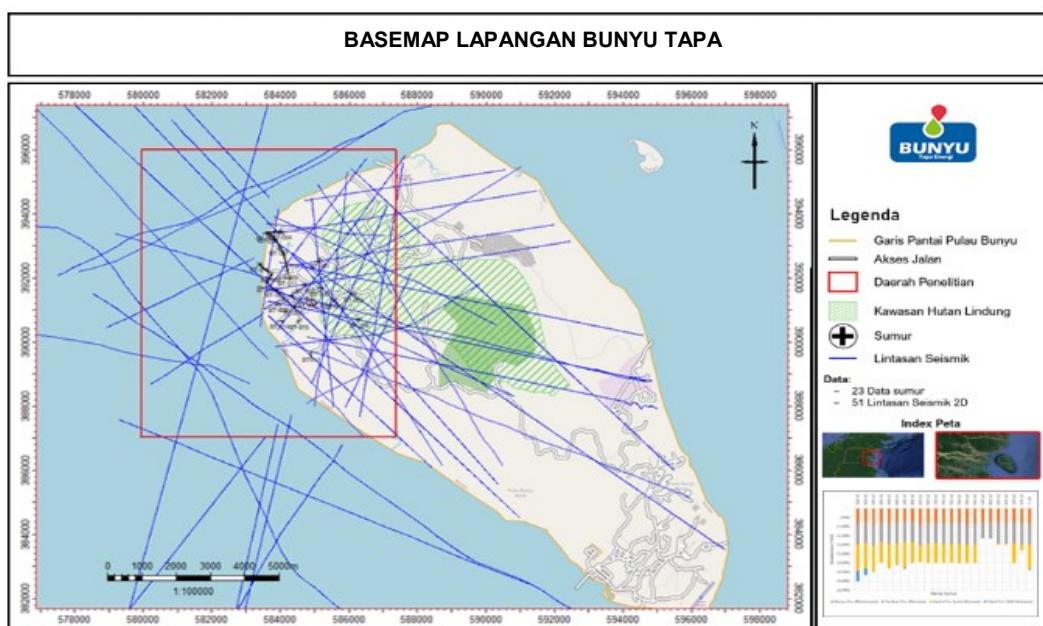
Gambar 1. Cekungan Kalimantan Utara (Wight dkk., 1993).



Gambar 2. Stratigrafi regional cekungan Tarakan (Ellen dkk., 2008)



Gambar 3. Integrasi data wireline log, core, dan biostratigrafi pada interval formasi Tarakan (Barkah dkk., 2024)



Gambar 4. Basemap penelitian pada lapangan Bunyu Tapa, Cekungan Tarakan, Kalimantan Utara

masa Pleistosen. Aktivitas tektonik Pliosen hingga Pleistosen Akhir bersifat kompresi, menghasilkan sesar mendatar. Formasi ini terendapkan selama transgresi Pleistosen dalam lingkungan *fluvial-delta plain*. Top Intra Bunyu merupakan zona potensial yang terdiri dari batupasir, lempungan, dan lapisan lignite, didukung oleh hasil analisis petrofisika dan inversi seismik.

Pada Cekungan Tarakan, khususnya Lapangan Bunyu Tapa, reservoir berkembang pada lingkungan deltaik yang dicirikan oleh perubahan fasies lateral yang cepat serta pengaruh sesar tumbuh dan sesar mendatar. Kondisi ini menyebabkan ketidakmenerusan lapisan batupasir reservoir, sehingga evaluasi berbasis data sumur saja tidak cukup untuk menggambarkan distribusi reservoir secara menyeluruh.

Oleh karena itu, diperlukan pendekatan karakterisasi reservoir berbasis data seismik melalui inversi impedansi akustik dan analisis multiatribut untuk memetakan sebaran properti reservoir secara lateral serta mengurangi ketidakpastian interpretasi bawah permukaan.

BAHAN DAN METODE

Analisis dilakukan menggunakan data data seismik dan data sumur, beserta data-data pendukung lainnya. Data seismik yang terlingkup sejumlah 51 lintasan seismik 2D Post Stack Time Migration dengan total panjang lintasan 496 km. Data seismik tersebut memiliki vintage tahun 1972, 1974, 1975, 1986, 1987, 1989, 2005, dan 2015.

Data sumur yang digunakan merupakan 18 data sumur vertikal dan 5 data sumur deviasi. Data sumur terdiri dari data wireline log, data marker, data *checkshot*, data *mudlog*, data produksi, dan data petrofisika. Basemap penelitian pada Lapangan Bunyu Tapa disajikan pada Gambar 4.

Pada prosedur penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 5, tahapan awal yang dilakukan merupakan input dan pengondisian data. Data seismik yang tersedia merupakan data seismik 2D Post Stack Time Migration Multi Vintage sehingga perlu dilakukan pengondisian data seismik guna menyelaraskan komponen-

komponen didalamnya seperti sample interval, rentang nilai amplitudo, dan keselarasan waktu awal pengukuran. Proses resampling data seismik ditunjukkan pada Gambar 6. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan kesamaan kualitas resolusi seismik.

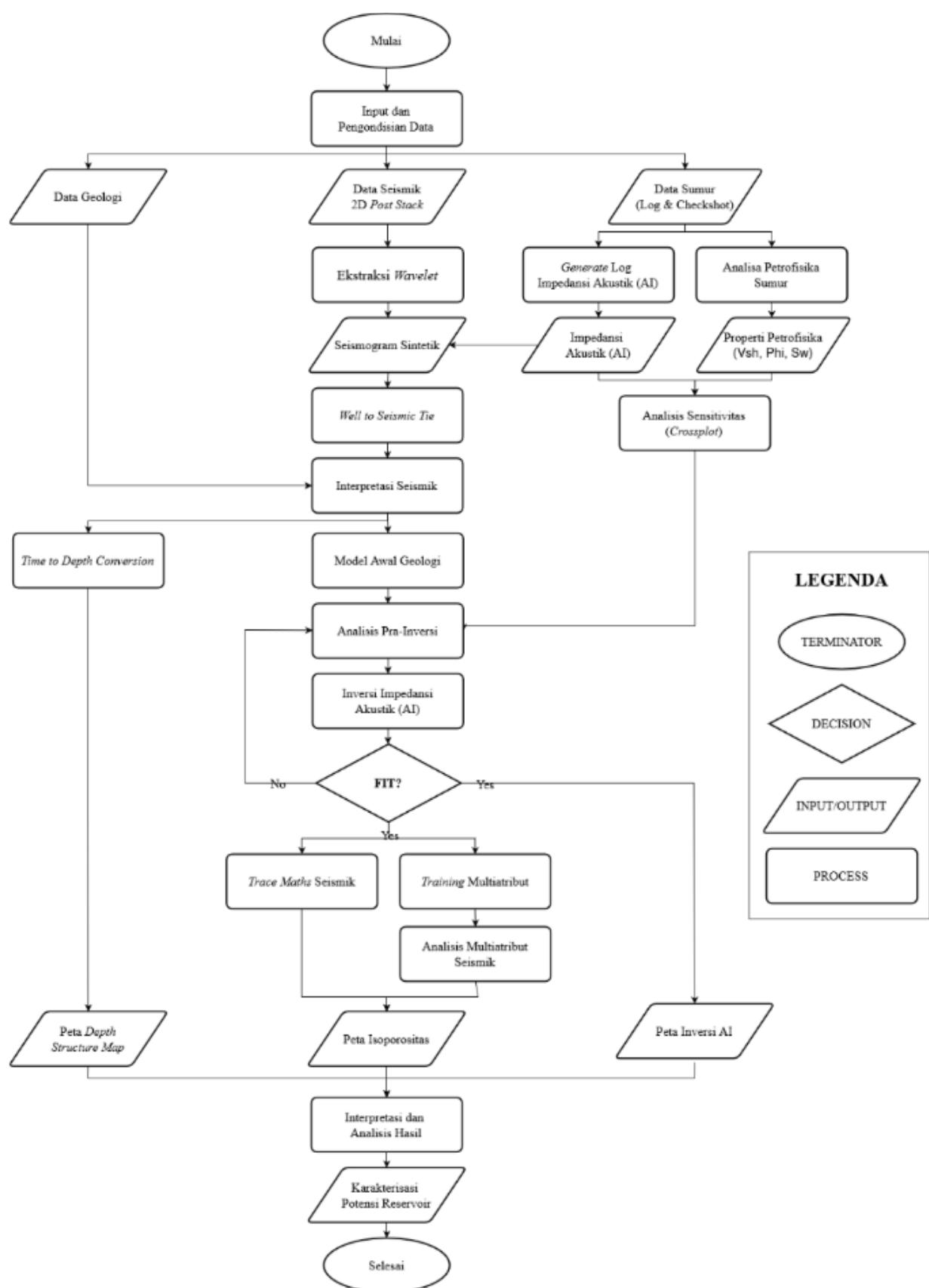
Setiap lintasan seismik dilakukan proses *amplitude balancing* agar didapatkan kesamaan rentang nilai amplitudo untuk memudahkan proses interpretasi seismik. Penampakan lintasan seismik sebelum dan sesudah dilakukan proses amplitude balancing ditunjukkan pada Gambar 7.

Selain itu, perbedaan pihak akuisisi data seismik menyebabkan perbedaan waktu awal pengukuran. Hal tersebut dapat mengakibatkan kesalahpahaman pada proses interpretasi seismik dikarenakan tidak-menerusan reflektor pada seismik 2D.

Hal tersebut perlu dilakukan pengondisian dengan menambahkan faktor time shift pada seismik. Penampakan *composite* lintasan seismik sebelum dan sesudah dilakukan proses *miss tie analysis* ditunjukkan pada Gambar 8. Pada data sumur, terdapat kekosongan data pada interval tertentu, sehingga perlu dilakukan prediksi *log sonic* untuk mendapatkan *log sonic sintetis*. Beberapa pendekatan yang digunakan adalah: 1) Persamaan Gardner; 2) Persamaan Faust; 3) Emerge Training Multiatribut; dan 4) *Neural Net* sumur.

Gambar 9 menunjukkan nilai korelasi prediksi *log sonic* dengan *log sonic* aktual. Meskipun nilai korelasi yang didapatkan hanya 57% karena luas area dan jumlah sumur yang diprediksi, pendekatan emerge training multiatribut dianggap sebagai yang terbaik dan akan digunakan untuk mengisi kekosongan data *log sonic* dalam penelitian ini.

Proses selanjutnya adalah proses ekstraksi wavelet dan *well seismic tie* yang bertujuan untuk mengorelsikan hubungan antara kedalaman sumur berdomain *depth* dengan kedalaman seismik berdomain *time*. Tabulasi hasil proses *well seismic tie* ditampilkan pada Tabel 1. Dari proses ini akan diperoleh informasi mengenai lokasi kedalaman horizon, formasi, atau *well tops* pada penampang seismik, sehingga dapat diketahui kemenerusan lapisan untuk dilakukan interpretasi. Sebelum



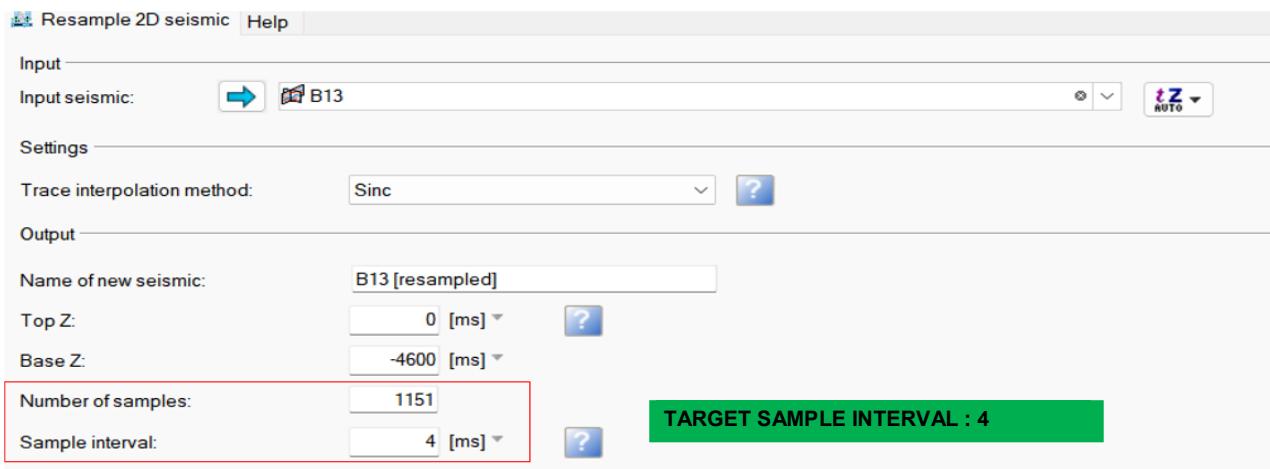
Gambar 5. Diagram alir penelitian

dilakukan tahapan interpretasi struktur, penting untuk melakukan tahapan korelasi sumur. Korelasi sumur merupakan tahapan penting sebelum dilakukannya tahapan interpretasi untuk mengetahui kemenerusan struktur bawah permukaan.

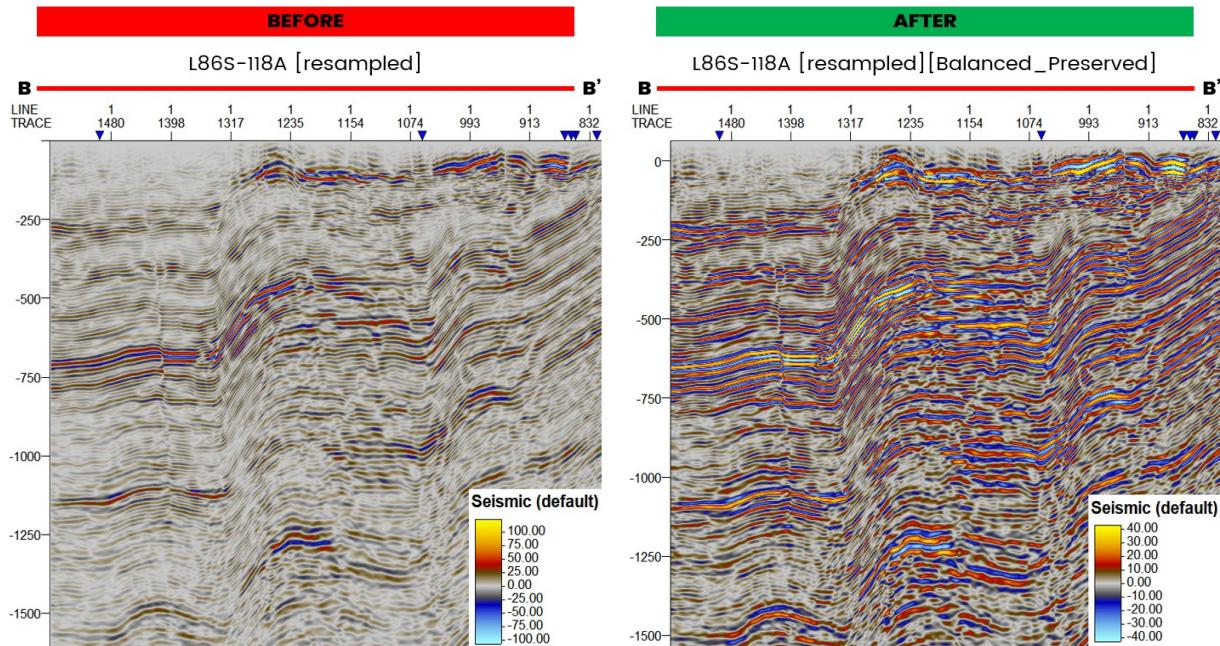
Proses korelasi sumur dilakukan dengan melakukan perataan kedalaman pada nilai 0 m. Korelasi sumur pada salah satu lintasan sumur ditunjukkan pada Gambar 10. Dapat diketahui bahwa pengendapan pada struktur Intra Bunyu berarah barat-timur.

Gambar 11 menunjukkan hasil interpretasi seismik pada penampang dengan menunjukkan adanya struktur patahan normal berarah barat laut-timur laut. Interpretasi horizon mengikuti kemenerusan *well tops* Top Intra Bunyu dan Top Tarakan, yang merupakan zona penting dalam penelitian ini.

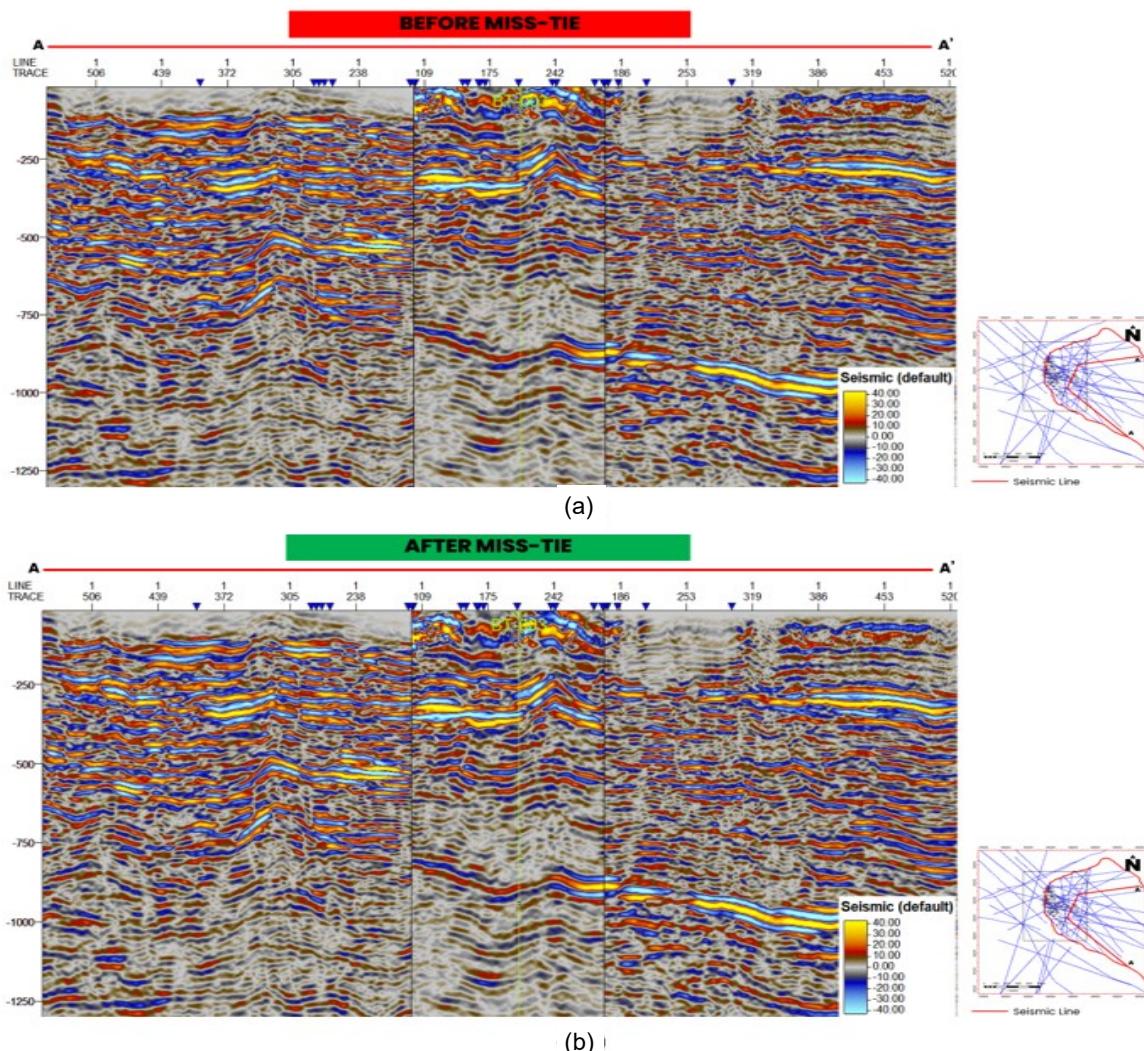
Intra Bunyu adalah lapisan dangkal yang sudah diproduksi, sedangkan Top Tarakan adalah batas bawah Formasi Bunyu. Hasil interpretasi berupa peta struktur bawah permukaan yang ditunjukkan pada Gambar 12



Gambar 6. Resampling data seismik



Gambar 7. Amplitude balancing



Gambar 8. Composite line seismik sebelum miss tie analysis (a), composite line seismik sesudah miss tie analysis (b)

dan 13 akan digunakan sebagai acuan untuk sistem perminyakan dan pengembangan wilayah eksplorasi atau produksi.

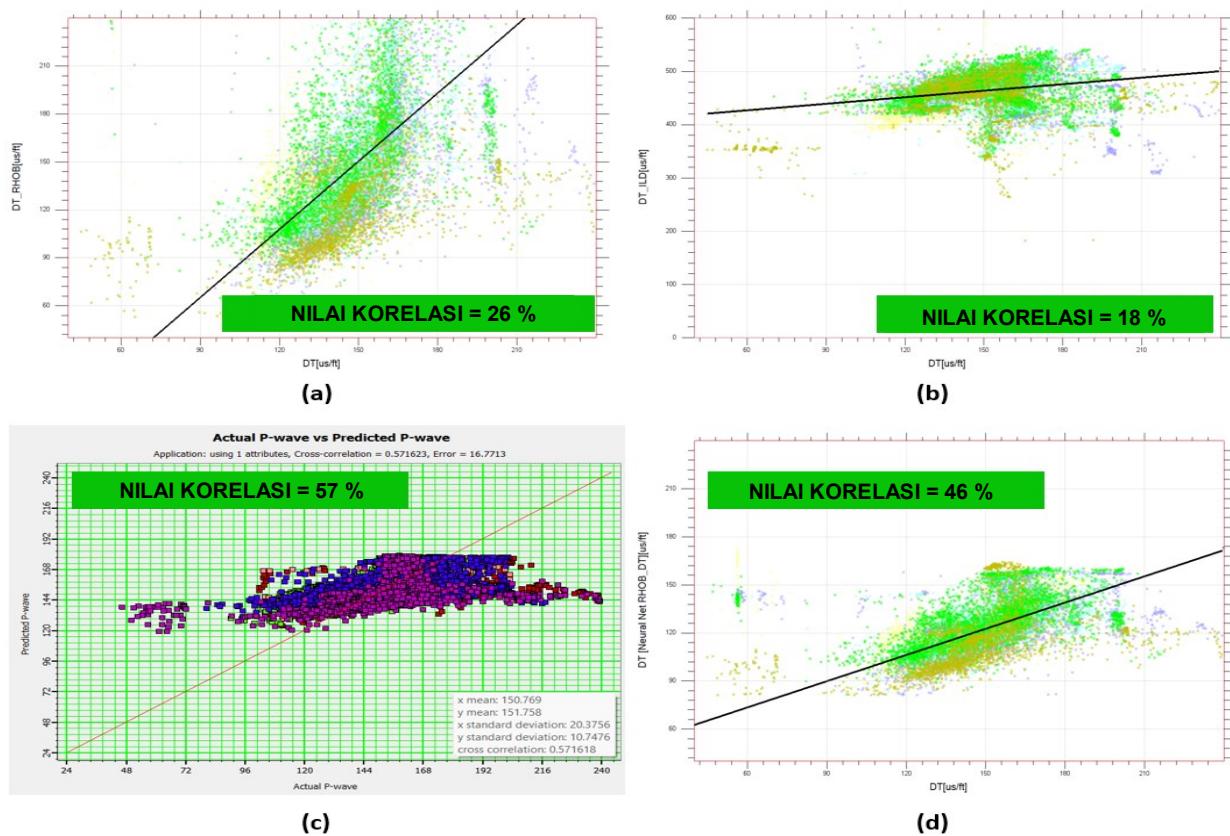
Proses selanjutnya yang dilakukan adalah analisis *tuning thickness*. Analisis *tuning thickness* merupakan tahapan yang dilakukan untuk mengetahui ketebalan reservoir yang dapat memiliki resolusi yang baik oleh wavelet. Secara perhitungan diperlukan nilai kecepatan interval antar horizon target pada saat dilakukan analisis.

Tuning thickness terjadi akibat respons seismik pada batas lapisan yang saling menguatkan nilai amplitudo. Rata-rata ketebalan batupasir pada interval target adalah 10 – 15 meter, kemudian pada Tabel 2 didapatkan hasil

analisis *tuning thickness* dimana suatu lapisan dapat terdeteksi dengan baik oleh gelombang seismik apabila ketebalan minimal 17 meter.

Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa ketebalan batupasir pada interval target cenderung lebih tipis daripada resolusi vertikal seismik sehingga formasi yang diteliti kurang dapat dideteksi dengan baik oleh gelombang seismik.

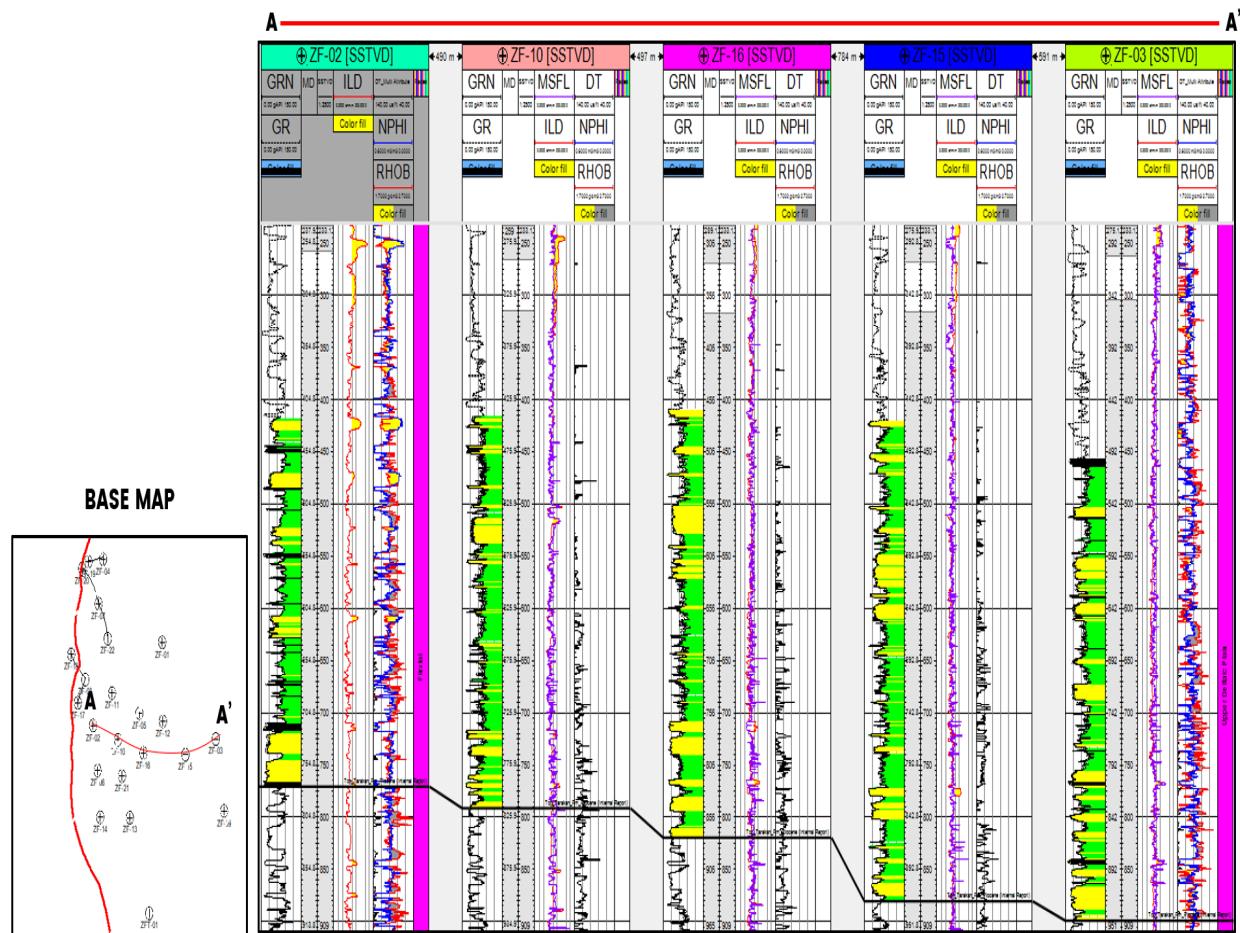
Proses konversi dari domain waktu ke kedalaman diperlukan untuk menghasilkan peta struktur bawah permukaan. Ini dapat dilakukan dengan metode *single velocity*, yang menganggap kecepatan konstan, atau dengan *velocity modelling*, yang mempertimbangkan variasi kecepatan di setiap struktur.



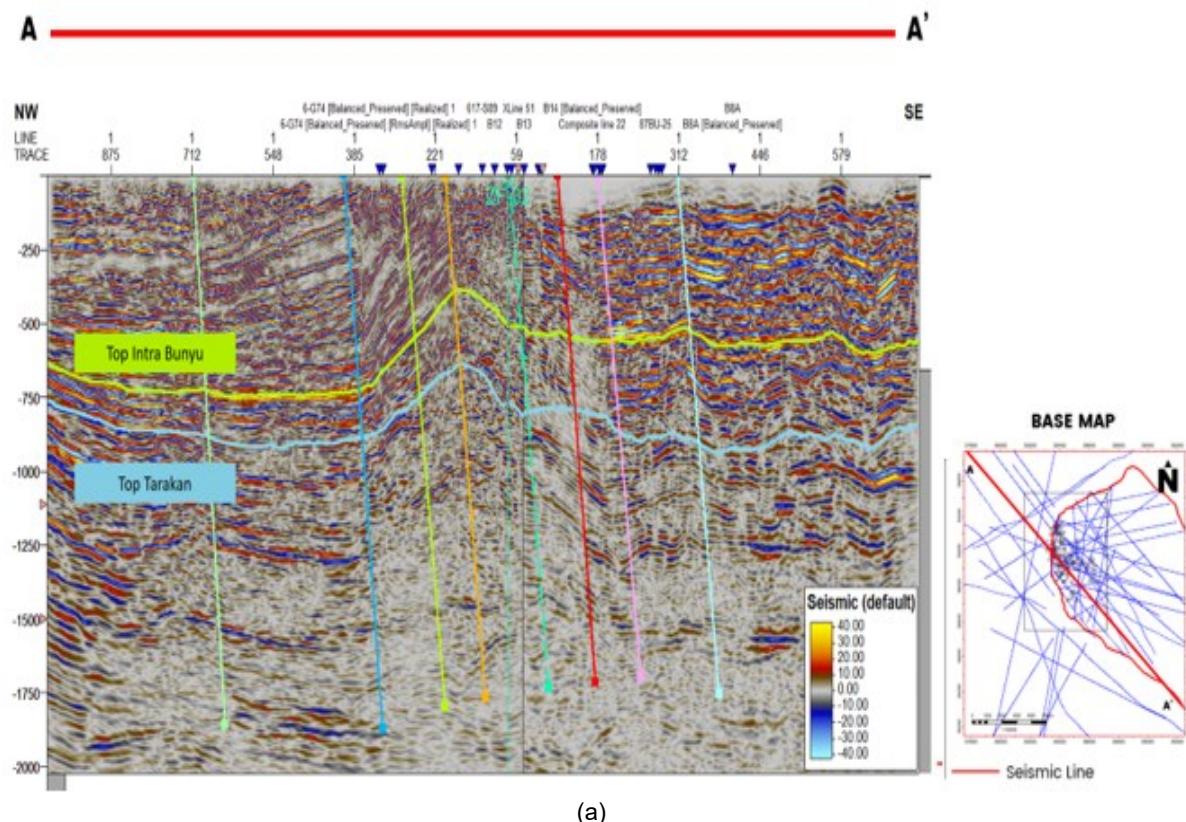
Gambar 9. Crossplot log sonic aktual dan sintetis dengan persamaan gardner (a), crossplot log sonic aktual dan sintetis dengan persamaan faust (b), crossplot log sonic aktual dan sintetis dengan *emerge training multiatribut* (c), dan crossplot log sonic aktual dan crossplot log sonic aktual dan sintetis dengan neural net (d)

Tabel 1. Hasil well to seismic tie

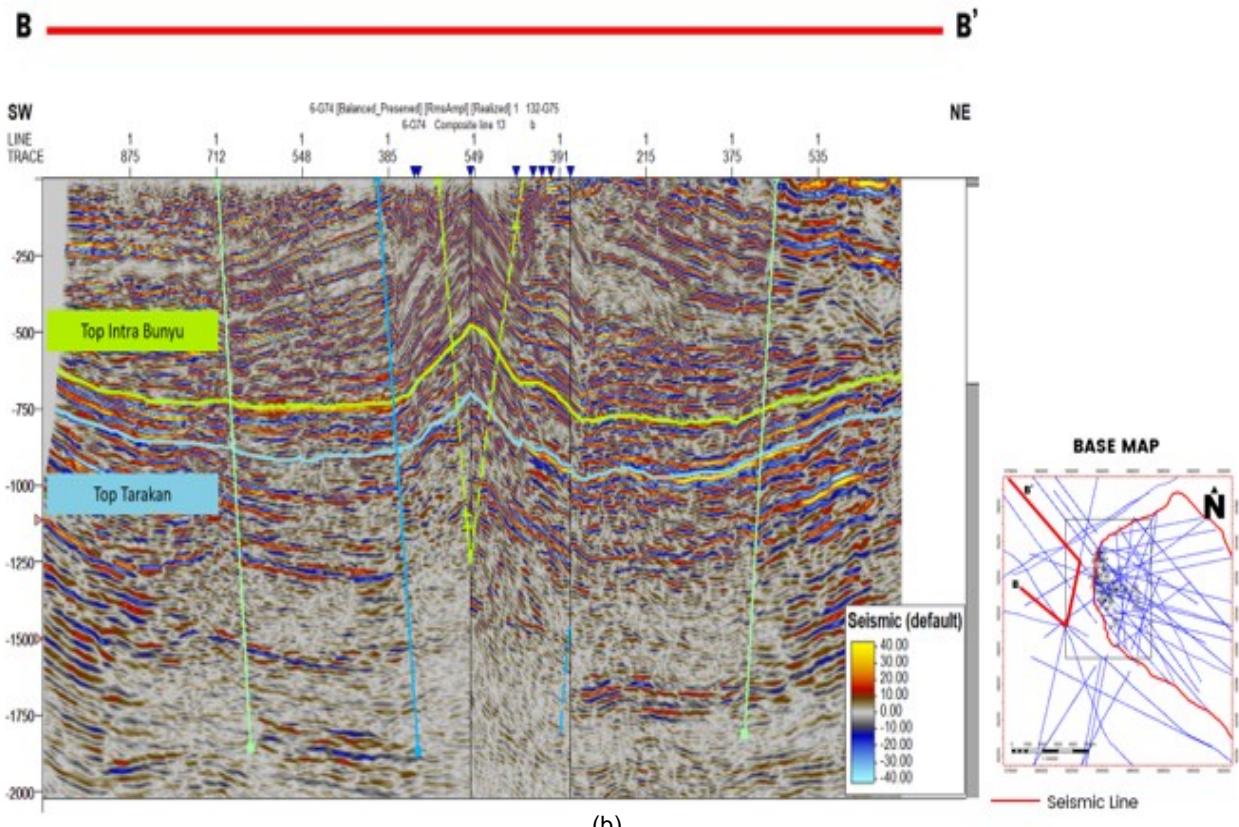
No	Well name	Wavelet extraction	Wavelet parameter		Correlation parameter		
			Time extraction	Name	Length (ms)	Trace calculation on window (ms)	Correlation value
1	ZF-002	Statistical	0 – 5200	Statistical_L87BU-04	200	500.00 – 781.37	0.724
2	ZF-002		0 – 6244	Statistical_L155-S86	200	500.00 – 781.37	0.609
3	ZF-002		34 – 4034	Statistical_87BU-007	200	500.00 – 781.37	0.542
4	ZF-002		13 – 5213	Statistical_L87BU-24	200	500.00 – 781.37	0.696
5	ZF-003		-28 – 6168	Statistical_L05BNY-02	200	400.00 – 896.45	0.730
6	ZF-003		-14 – 5086	Statistical_L87BU-31	200	400.00 – 896.45	0.641
7	ZF-002		-28 – 6168	Statistical_Avg_L87BU-04_L155-S86_L05BNY-02	200	500.00 – 781.37	0.721
8	ZF-003				200	400.00 – 896.45	0.673
9	ZF-002	Use well	34 – 4034	Statistical_Avg_All	200	500.00 – 781.37	0.714
10	ZF-003				200	400.00 – 896.45	0.669
11	ZF-002		0 – 5100	Usewell_L87BU-04	200	500.00 – 781.37	0.543
12	ZF-003		-28 – 6168	Usewell_L05BNY-02	200	400.00 – 896.45	0.750



Gambar 10. Korelasi sumur formasi bunyu



(a)



Gambar 11. Interpretasi seismik pada top intra bunyu dan top Tarakan

Untuk memvalidasi hasil konversi, analisis dilakukan menggunakan data kontrol dari surface berdomain *depth* dan *well tops*. Gambar 14 menunjukkan *time depth curve* pada sumur yang memiliki data *checkshot* yakni BT-02 dan BT-03.

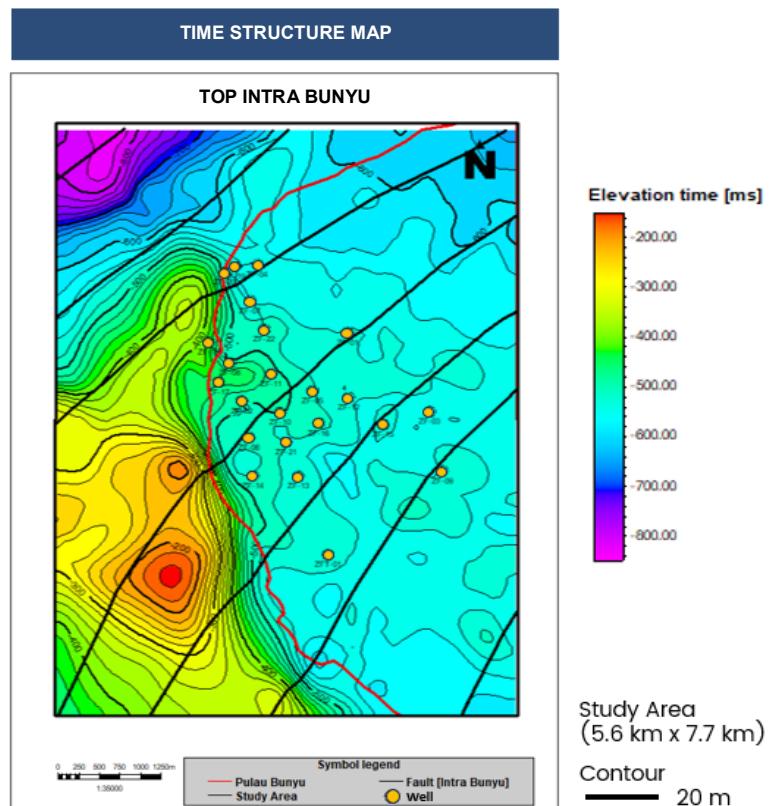
Hasil konversi ini menghasilkan peta struktur bawah permukaan yang ditampilkan pada Gambar 15 dan 16. Berdasarkan analisis persebaran data sesuai pada Gambar 17, 18, dan 19, nilai *P-impedance* yang rendah berasosiasi dengan nilai porositas yang tinggi, dan sebaliknya. Kemudian, zona berwarna kuning diindikasikan sebagai reservoir porous dengan porositas bernilai 5% - 35% dengan persebaran nilai *P-impedance* berada pada rentang 3200 - 4800 ((m/s)*(g/cc)) pada interest zone Intra Bunyu.

Tahap analisis sensitivitas bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter yang sensitif antara data seismik dan sumur. Analisis dapat dilakukan dengan melakukan *crossplot* antara dua parameter dan melihat bagaimana persebaran titik atau sebaran datanya. Sensitivitas yang baik akan ditandai dengan separasi persebaran titik yang terlihat jelas sehingga dapat dilakukan zonasi. Hasil

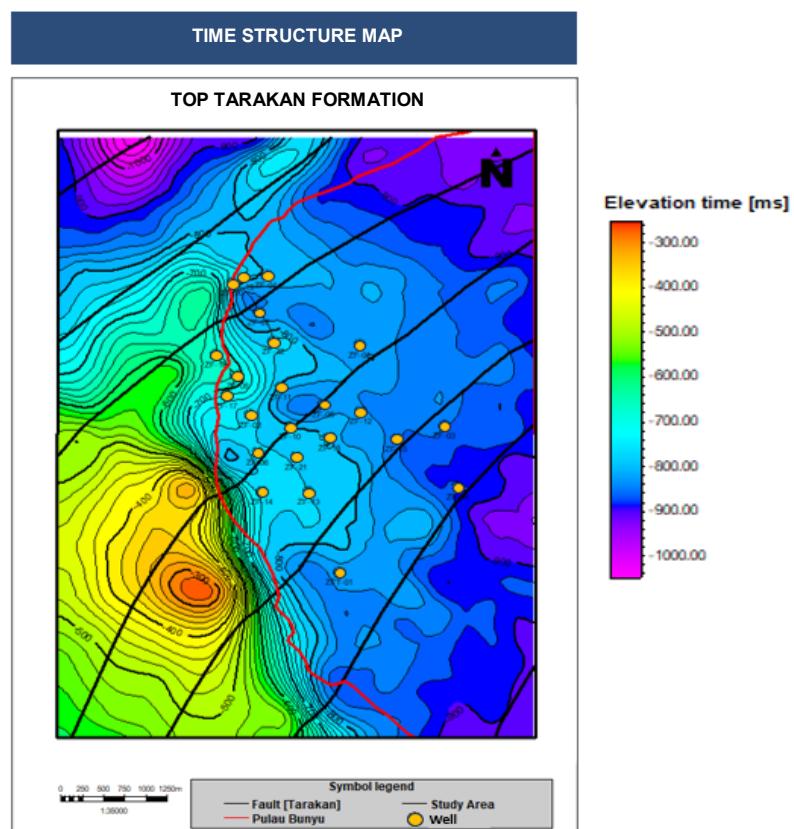
dari analisis ini selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan melakukan proses karakterisasi reservoir seperti delineasi zona reservoir dan *non-reservoir*, keberadaan fluida, dan jenis kandungan fluida.

Tahapan inversi seismik impedansi akustik bertujuan untuk memperoleh sebaran impedansi akustik dari data seismik dan sumur yang ada. Impedansi akustik adalah parameter fisis batuan yang efektif menggambarkan kondisi geologi di bawah permukaan. Sebaran data ini dapat merepresentasikan porositas, berkat analisis sensitivitas terhadap data sumur. Proses dimulai dengan pembuatan model geologi awal, yang menyebarkan nilai impedansi akustik dari tiap sumur pada penampang seismik.

Model awal yang digunakan adalah model frekuensi rendah (LFM) untuk mendekati kondisi nyata berdasarkan data sumur (Cooke & Cant 2010). Pada pembuatan model awal, digunakan *highcut frequency* 15/20 Hz. Pada Gambar 20, 21, dan 22 terlihat persebaran nilai impedansi akustik rendah ditampilkan pada warna hijau hingga nilai impedansi akustik tinggi ditampilkan pada warna ungu.



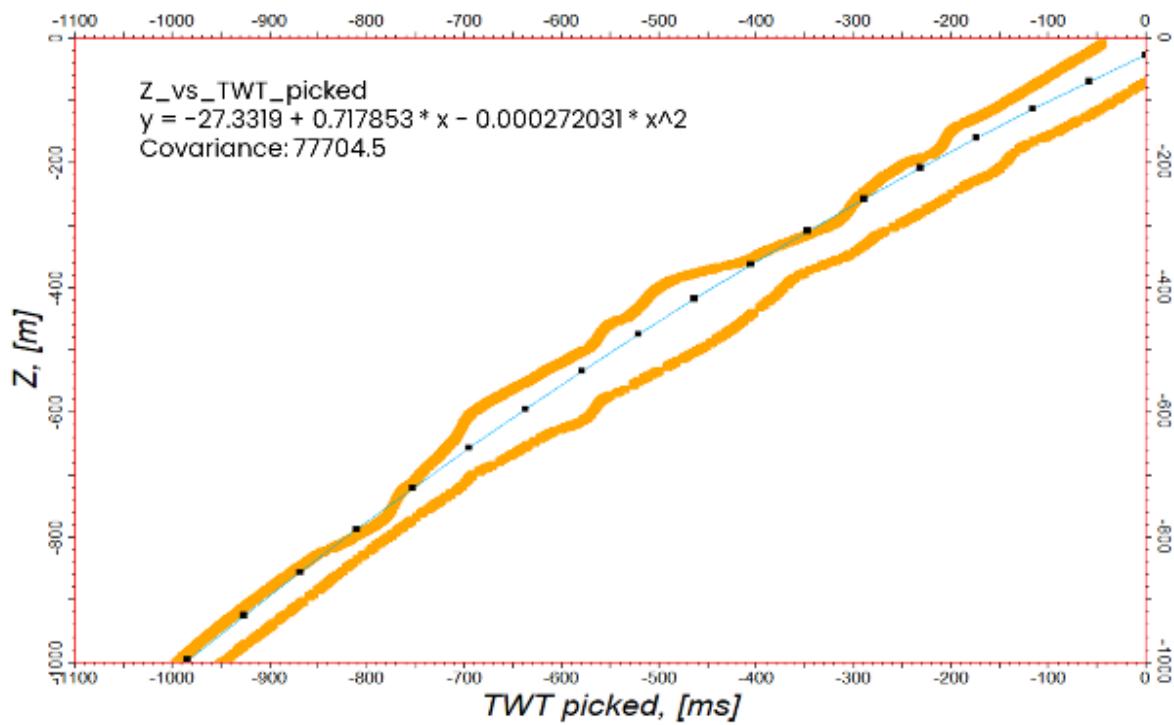
Gambar 12. Time structure map top intra bunyu



Gambar 13. Time structure map top tarakan

Tabel 2. Hasil analisis *tuning thickness*

No	Well Name	Seismic	Time	Interval velocity		z	Dominant Frequency	Lambda	Tuning Thickness
				m/s	m				
1	ZF-OI	L87BU-05	704.02	2028.15	695.21	20	10.41		25.35
2	ZF-02	L87BU-04	694.89	1934.43	665.3	23	84.11		21.03
3	ZF-03	L05BNY-02	686.58	1972.85	678.82	35	56.37		14.09
4	ZF-04	L87BU-03	682.34	1964.3	676.12	20	98.22		24.55
5	ZF-05	L87BU-29	650.25	2618.49	555.9	18	145.47		36.37
6	ZF-06	L15BU-03	662.78	2597.62	552.9	25	103.90		25.98
7	ZF-07	L05BNY-02	662.6	2562.95	549.62	35	73.23		18.31
8	ZF-08	617-S89	665.86	2573.19	558.19	33	77.98		19.49
9	ZF-09	L15BU-013	672.31	2580.04	566.93	25	103.2		25.80
10	ZF-10	L87BU-24	671.37	2579.65	566.16	25	103.19		25.80
11	ZF-11	87BU-007	671.06	2552.51	565.02	18	141.81	$\lambda = V/f$	35.45
12	ZF-12	87BU-007	668.53	2491.11	608.05	18	138.40		34.60
13	2F-13	L87BU-04	635.27	2542.14	573.22	23	110.53		27.63
14	2F-14	L87BU-29	654.54	2550.86	574.87	18	141.71		35.43
15	2F-15	L87BU-06	662.96	2487.78	602.52	15	165.85		41.46
16	ZF-16	L87BU-24	672.37	2467.3	593.08	25	98.69		24.67
17	ZF-17	B12	641.25	2609.32	585.94	25	104.37		26.09
18	ZF-18	B12	641.54	2625.09	556.5	25	105.00		26.25
19	ZF-19	B12	706.69	2091.99	724.91	25	83.68		20.92
20	ZF-20	L05BNY-02	672.71	2479.01	582.71	35	70.83		17.71
21	ZF-21	L87BU-013	687.79	2034.87	698.22	25	81.39		20.35
22	2F-22	L05BNY-02	22	2670.58	579.2	35	76.3		19.08
23	ZFT-I	L87BU-02	-638.1	2563.34	-553.95	22	116.52		29.13



Gambar 14. Time depth curve BT-02 dan BT-03

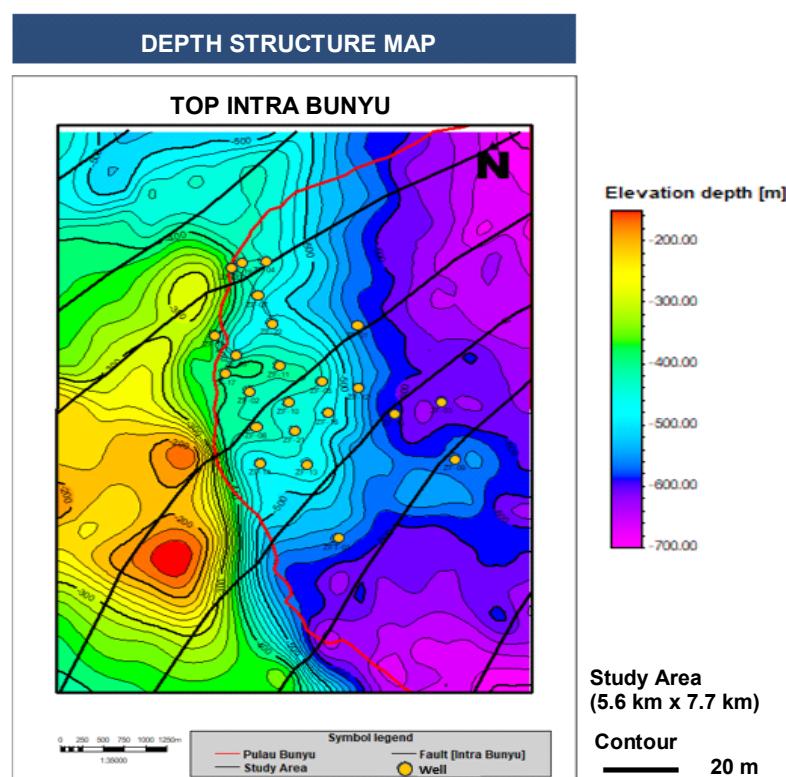
Namun untuk interest zone yang difokuskan hanya berada pada *windows* berwarna oranye hingga biru muda dengan nilai impedansi akustik 3200 – 4800 ((m/s)*(g/cc)). Selanjutnya, dilakukan analisis pra-inversi untuk membandingkan data log impedansi akustik dan hasil inversi, dengan memperhatikan korelasi antara *trace seismik* sintetik dan orisinal yang ditampilkan pada Gambar 23.

Penelitian ini menggunakan metode model based untuk inversi, yang hasilnya dievaluasi berdasarkan nilai error dan korelasi data. Analisis dilakukan dengan pengaturan *window* sesuai dengan *interest zone*, yaitu dari Top Intra Bunyu hingga Top Tarakan.

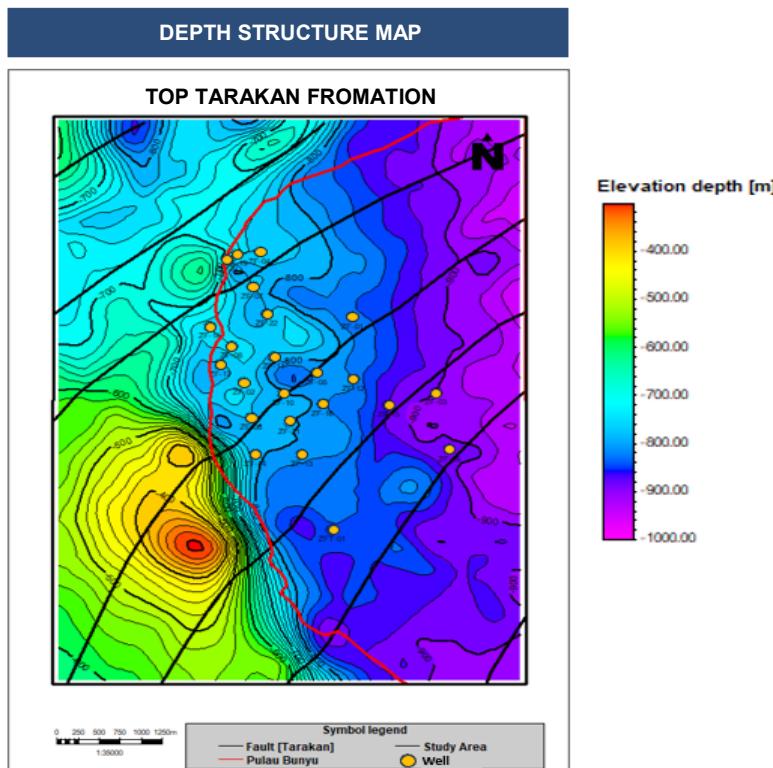
Tahapan multiatribut seismik bertujuan untuk memprediksi properti *petrofisis* seperti porositas dengan menggunakan beberapa atribut seismik secara bersamaan untuk meningkatkan akurasi prediksi. Sehingga, diharapkan dengan menggunakan beberapa atribut seismik secara sekaligus mampu menghasilkan prediksi porositas yang akurat. Proses dimulai dengan menentukan

log porositas sebagai target prediksi, serta atribut internal dari data seismik dan atribut eksternal dari inversi impedansi akustik. Analisis dilakukan melalui *trial and error* untuk menemukan atribut seismik optimal, dengan menggunakan panjang operator sebanyak 9 dan maksimal 8 atribut per lintasan. Proses ini meliputi training dan validasi, di mana penurunan nilai error diperhatikan, sambil memastikan atribut yang digunakan sesuai secara geologis.

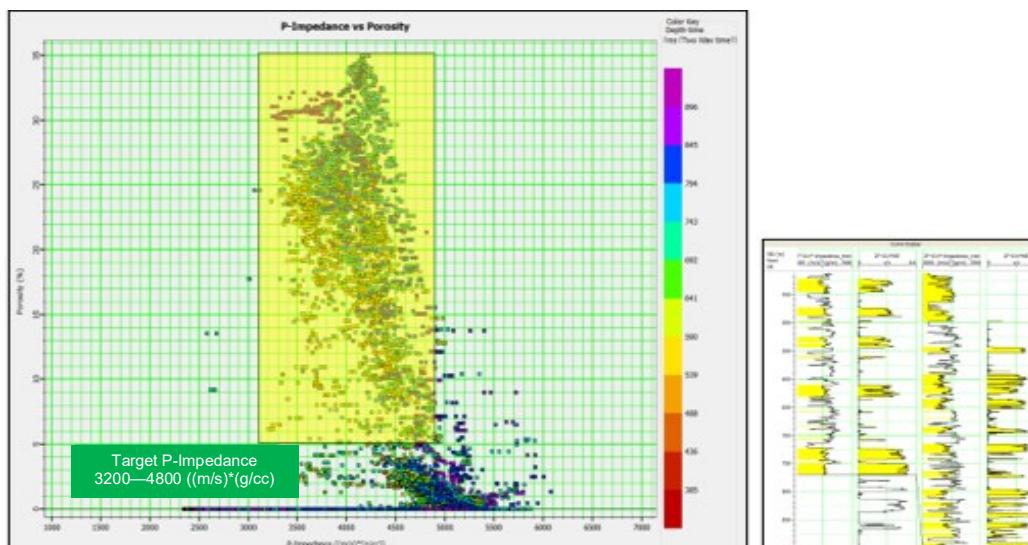
Hasil analisis multiatribut kemudian dikorelasikan dengan log aktual; korelasi mendekati 1 menunjukkan akurasi yang baik. Setelah analisis, multiatribut diaplikasikan untuk menghasilkan sebaran porositas pada penampang seismik. Selanjutnya, metode *neural network* digunakan untuk meningkatkan prediksi sebaran porositas, dengan mempertimbangkan atribut yang menunjukkan korelasi baik (Widarsono dkk., 2002). Validasi dilakukan melalui *crossplot* antara hasil prediksi dan log aktual. *Training neural network* dilakukan khusus untuk memprediksi porositas pada Intra Bunyu, dan hasilnya dicatat untuk dibandingkan dengan analisis multiatribut.

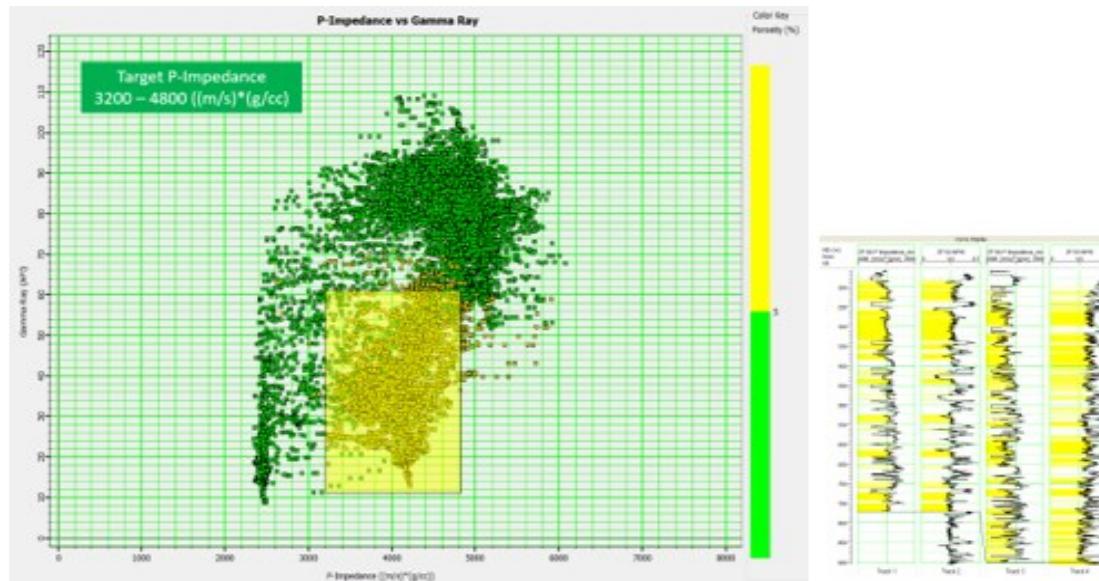


Gambar 15. Depth structure map top intra bunyu

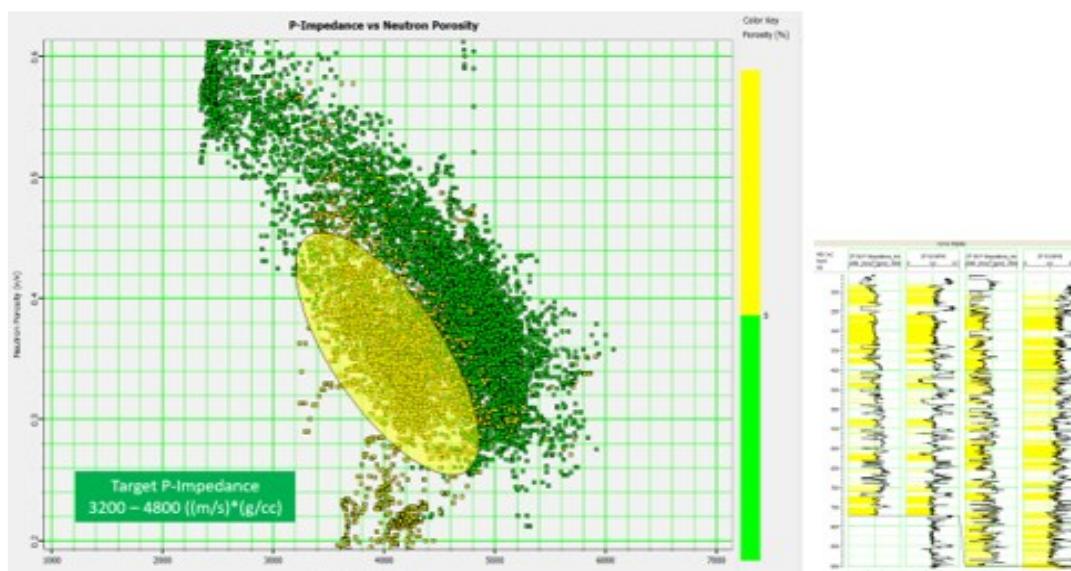


Gambar 16. Depth structure map top tarakan





Gambar 18. Crossplot data gamma ray dan data P-*impedance*



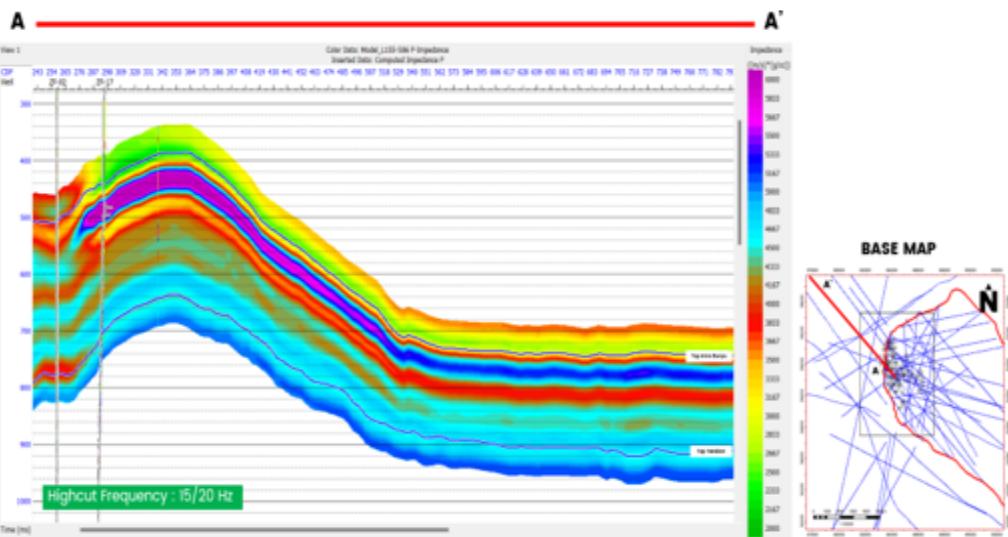
Gambar 19. Crossplot data neutron porositas dan data P-*impedance*

lingkungan *fluvial-delta plain*. Formasi ini hanya ditemukan di Sub-Cekungan Tarakan. Hasil interpretasi menunjukkan adanya struktur patahan dan lipatan di daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 24.

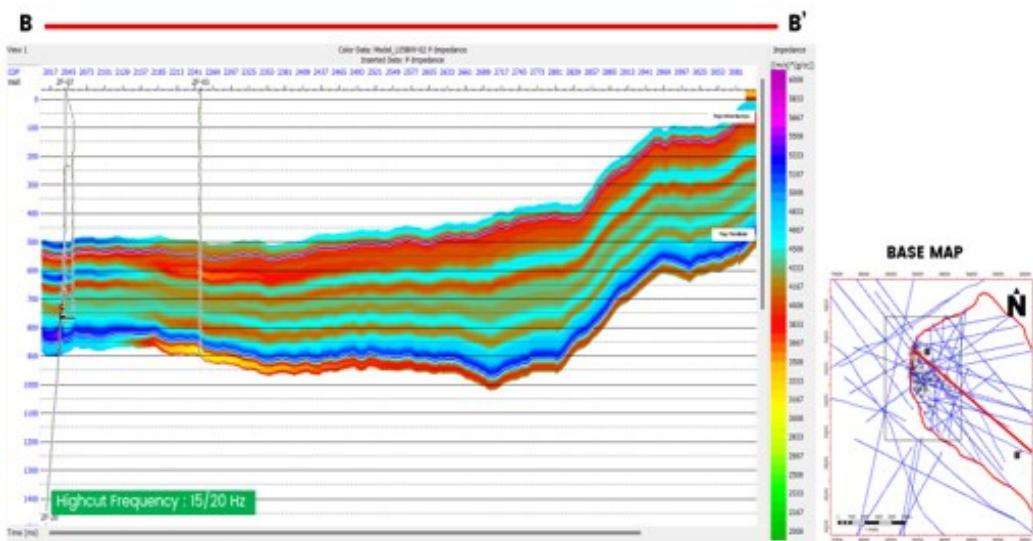
Analisis hasil inversi impedansi akustik

Impedansi akustik adalah parameter fisis yang menggambarkan sifat batuan di bawah permukaan. Zona *reservoir* dengan porositas tinggi memiliki nilai impedansi akustik rendah karena rigiditas

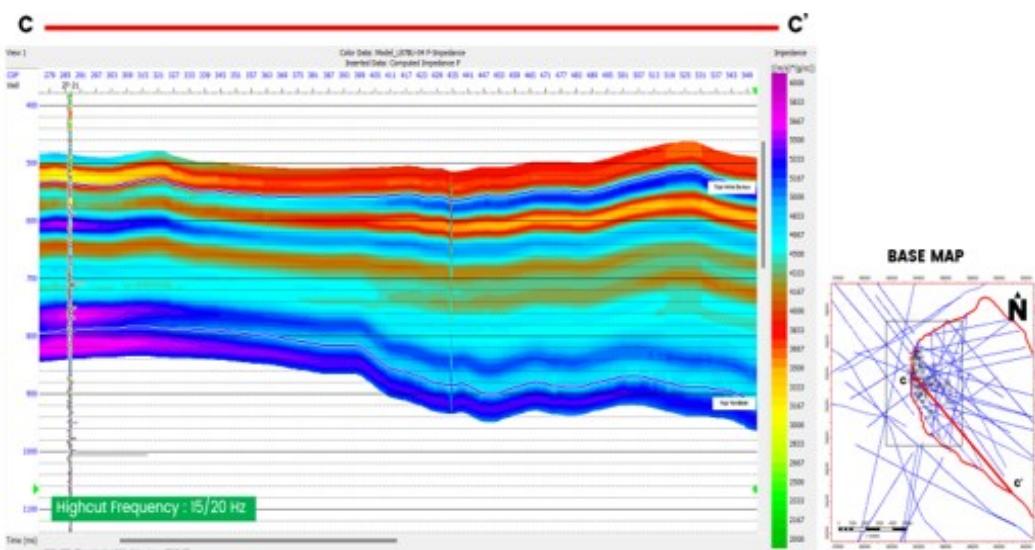
batuan yang berkurang. Saturasi hidrokarbon dengan densitas rendah juga menyebabkan nilai impedansi akustik rendah, menjadikannya acuan awal sebelum interpretasi kuantitatif seismik lainnya. Berdasarkan nilai korelasi yang didapatkan pada proses inversi impedansi akustik dapat disimpulkan bahwa proses tersebut telah optimal. Luaran dari proses ini berupa model penampang impedansi akustik dua dimensi pada setiap lintasan seismik yang tersedia dan dilewati sumur.



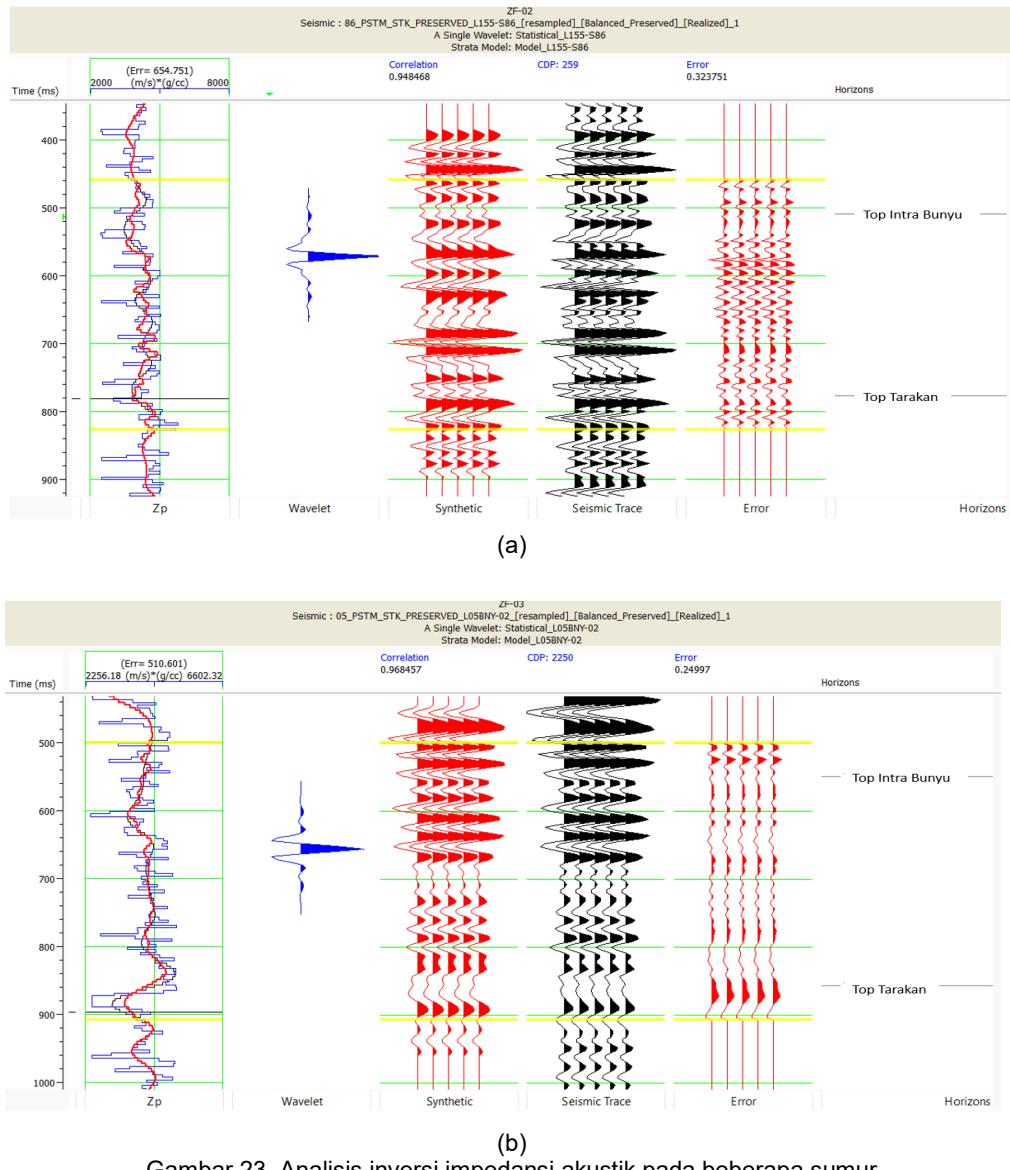
Gambar 20. Model awal geologi pada lintasan seismik L155-S86



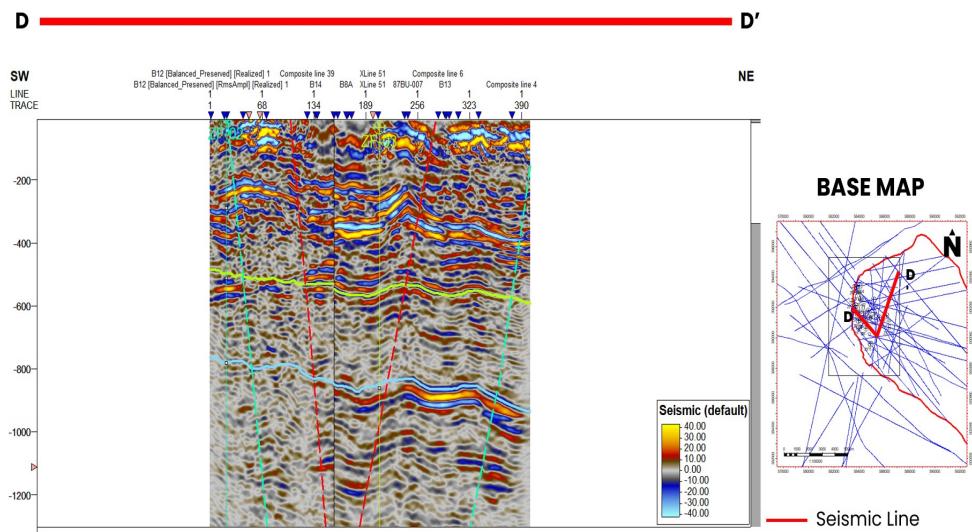
Gambar 21. Model awal geologi pada lintasan seismik L05BNY-02



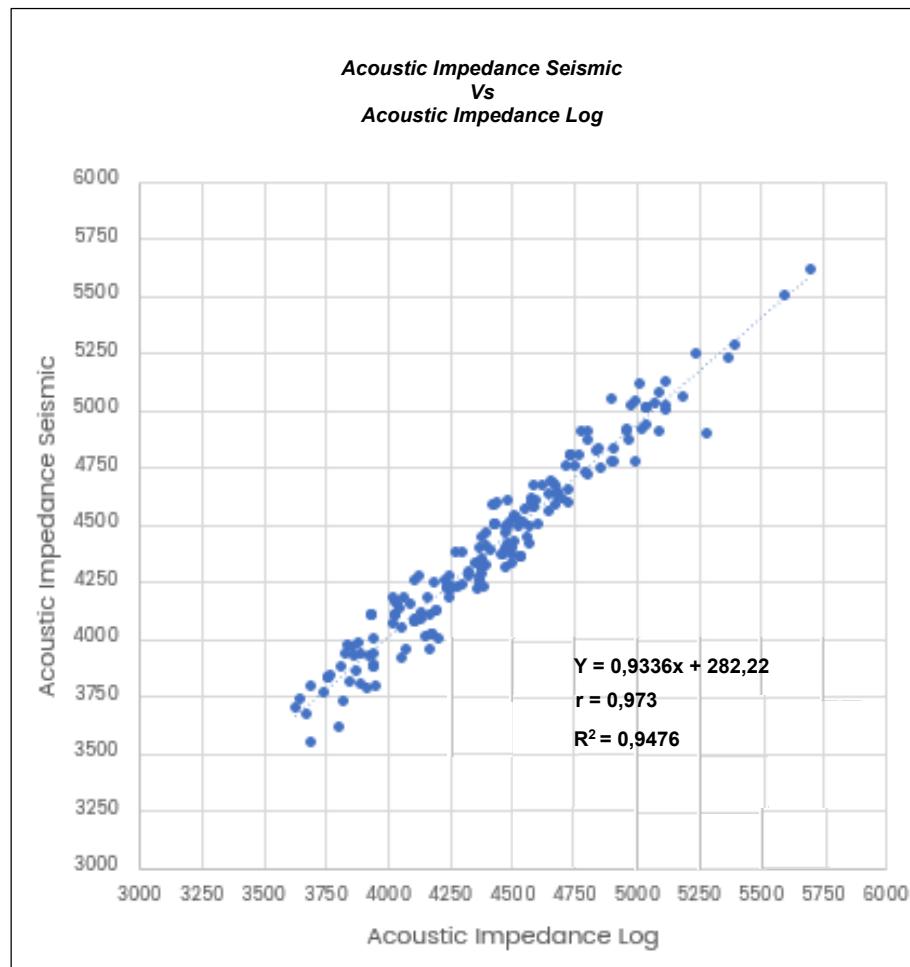
Gambar 22. Model awal geologi pada lintasan seismik L87BU-04



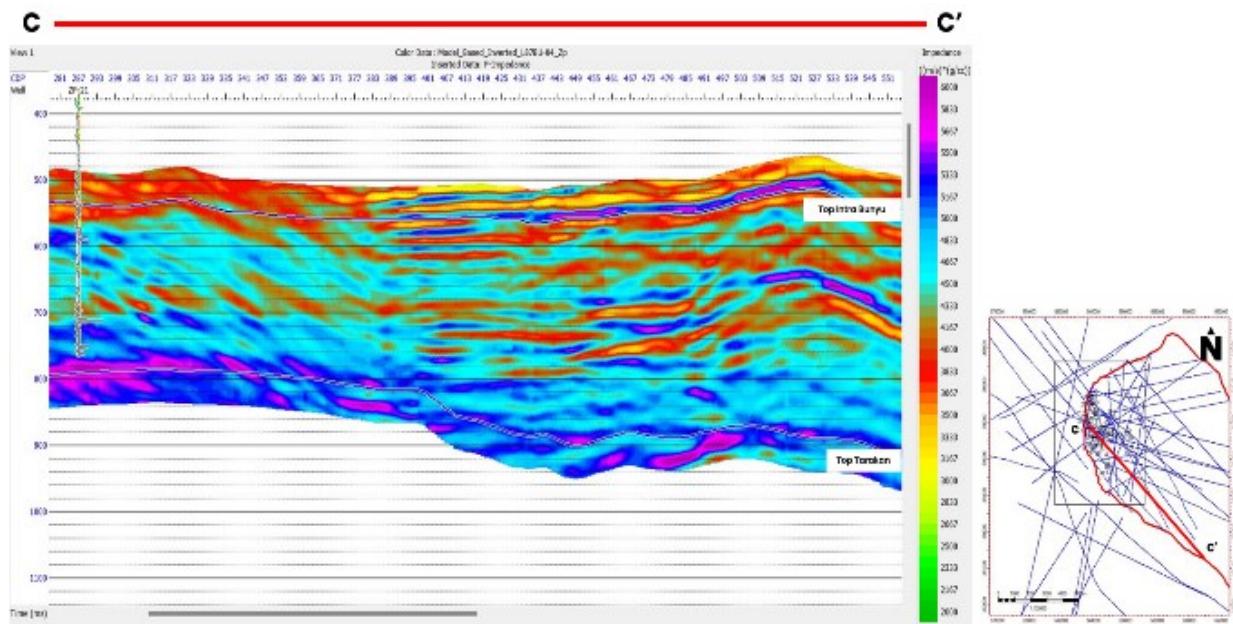
Gambar 23. Analisis inversi impedansi akustik pada beberapa sumur



Gambar 24. Kenampakan struktur patahan dan lipatan berdasarkan interpretasi seismik



Gambar 25. Crossplot korelasi hasil inversi dengan data log



Gambar 26. Penampang hasil inversi AI pada lintasan seismik L87BU-04

Tabel 3. Tabulasi nilai error dan korelasi hasil inversi post-stack

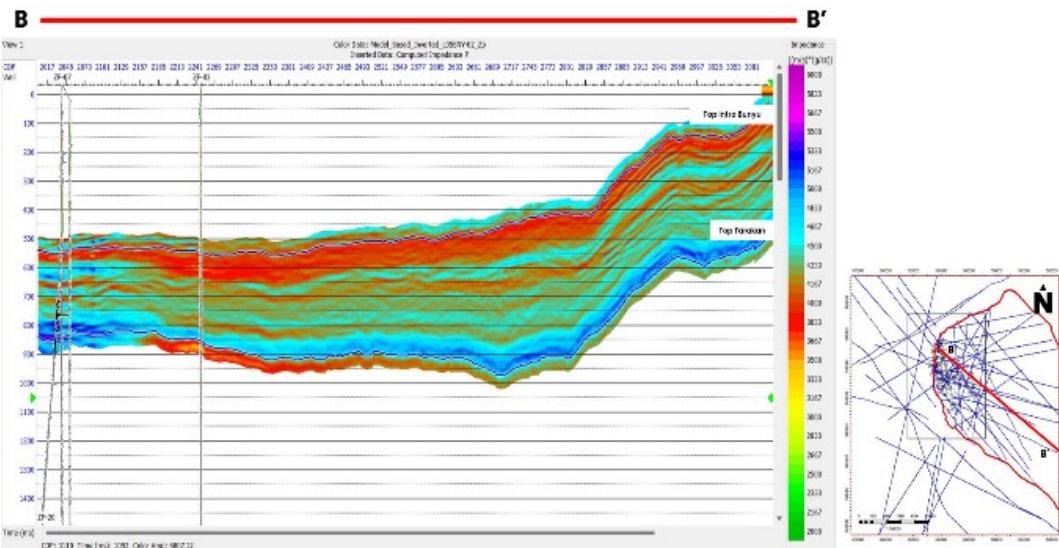
No	Line Seismik	Nama sumur	Nilai Korelasi	Nilai Error	No	Line Seismik	Nama Sumur	Nilai Korelasi	Nilai Error	
1		ZF-02	0.958	0.296	25	L87BU-05	ZF-01	0.923	0.398	
2	19_BUNYU_ISSA	ZF-IO	0.962	0.279	26	L87BU-06	ZF-12	0.964	0.271	
3		ZF-16	0.986	0.175	27		ZF-15	0.968	0.266	
4	21_BUNYU_ISSA	ZFT-1	0.973	0.239	28		ZF-02	0.965	0.281	
5	B8A	ZF-12	0.998	0.077	29	87BU-007	ZF-05	0.967	0.313	
6		ZF-15	0.999	0.044	30		ZF-12	0.955	0.297	
7		ZF-08	0.962	0.274	31		ZF-02	0.976	0.225	
8		ZF-17	0.985	0.172	32	L87BU-24	ZF-10	0.947	0.324	
9	B12	ZF-18	0.975	0.224	33		ZF-16	0.954	0.32	
10		ZF-19	0.993	0.125	34		ZF-17	0.947	0.326	
11		ZF-20	0.991	0.137	35		ZF-05	0.944	0.225	
12		ZF-05	0.972	0.239	36	L87BU-29	ZF-16	0.954	0.311	
13	B13	ZF-oG	0.98	0.198	37		ZF-21	0.903	0.479	
14		ZF-IO	0.972	0.243	38		ZF-08	0.966	0.277	
15		ZF-02	0.948	0.324	39	617-S89	ZF-17	0.988	0.181	
16	L155-S86	ZE—17	0.967	0.271	40		ZF-18	0.974	0.24	
17		ZF-21	0.935	0.364	41		ZF-03	0.968	0.25	
18	L87BU_02	ZFT-I	0.93	0.406	42	L05BNY-02	ZF-07	0.985	0.171	
19		ZF-04	0.974	0.252	43		ZF-20	0.987	0.161	
20	L87BU-03	ZF-19	0.988	0.154	44	L15BU-002	ZF-01	0.956	0.309	
21		ZF-20	0.988	0.154	45		ZF-12	0.943	0.335	
22		ZF-02	0.982	0.223	46		ZF-06	0.971	0.239	
23	L87BU-04	ZF-17	0.92	0.405	47	L15BU-013	ZF-09	0.987	0.162	
24		ZF-21	0.975	0.224	48		ZF-21	0.936	0.369	
Rata-rata									0.965	0.255

Analisis pra-inversi dilakukan pada interval dari Top Intra Bunyu hingga Top Tarakan. Hasil analisis inversi impedansi akustik ditunjukkan pada beberapa sumur. Setelah analisis, diterapkan inversi untuk properti impedansi akustik, densitas, dan *p*-wave. Tabel 3 menyajikan nilai korelasi dan error dari properti impedansi akustik, sementara Gambar 25 menampilkan grafik korelasi antara nilai impedansi akustik seismik dan log. Nilai korelasi hasil inversi impedansi akustik adalah 0,973.

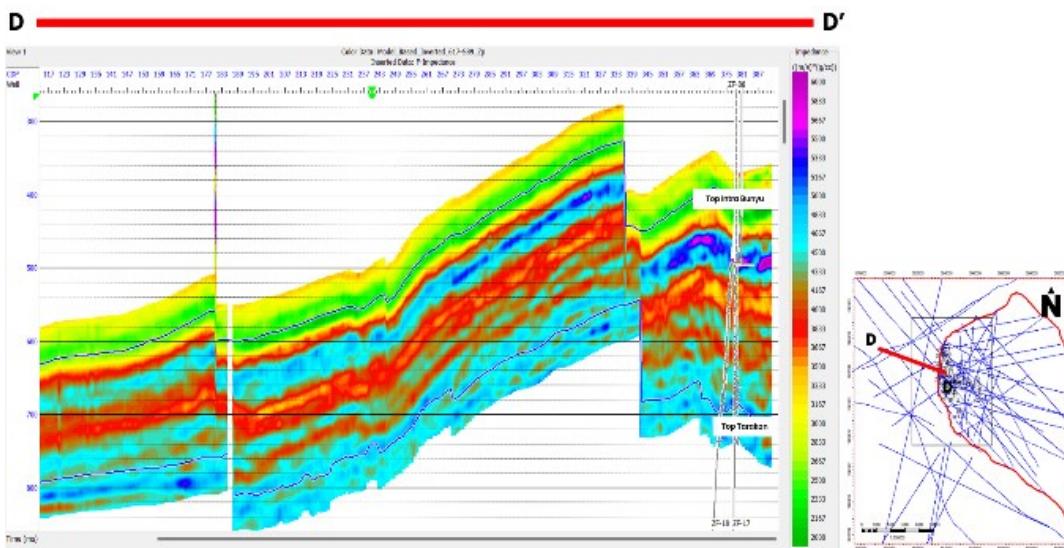
Gambar 26, 27, 28, dan 29 menunjukkan hasil inversi impedansi akustik Intra Bunyu, bagian dari Formasi Bunyu, dengan rentang nilai impedansi akustik antara 2000 dan 6000 ((m/s)*(g/cc)). Keberadaan impedansi akustik rendah ditandai warna merah, sementara nilai yang menunjukkan respon terhadap reservoir atau batuan porous berada dalam rentang 3200 hingga 4800 ((m/s)*(g/

cc)), ditandai dengan warna oranye hingga biru muda. Nilai di bawah 3200 ((m/s)*(g/cc)) menunjukkan keberadaan batubara, sedangkan nilai di atas 4800 ((m/s)*(g/cc)) menunjukkan batuan non-porous. Gambar 30 menunjukkan peta sebaran nilai impedansi akustik pada Top Intra Bunyu.

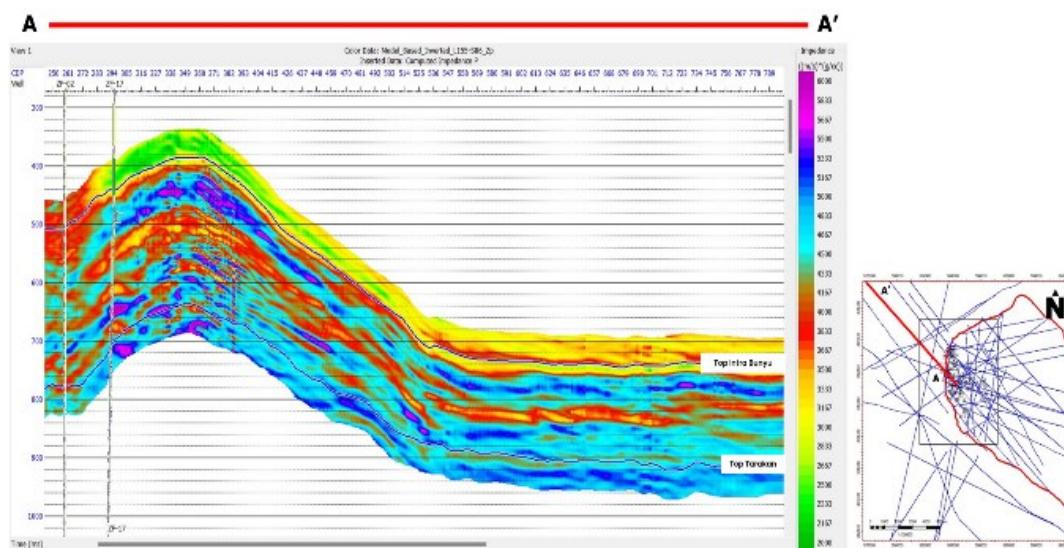
Formasi Bunyu memiliki batu pasir tebal yang melimpah dan berbutir sedang hingga kasar. Secara struktur daerah dengan impedansi yang rendah dapat dikorelasikan dengan batupasir yang tebal. Dengan demikian daerah dengan nilai impedansi akustik yang rendah kemungkinan merupakan daerah dimana batuan yang prospek berada. Ketidakmenerusan lateral reservoir Intra Bunyu yang teridentifikasi pada hasil inversi impedansi akustik sejalan dengan karakter lingkungan fluvial-delta plain yang menghasilkan endapan *channel sand* berdistribusi lokal. Selain itu, keberadaan sesar mendatar yang berkembang sejak Pliosen berperan dalam segmentasi reservoir dan



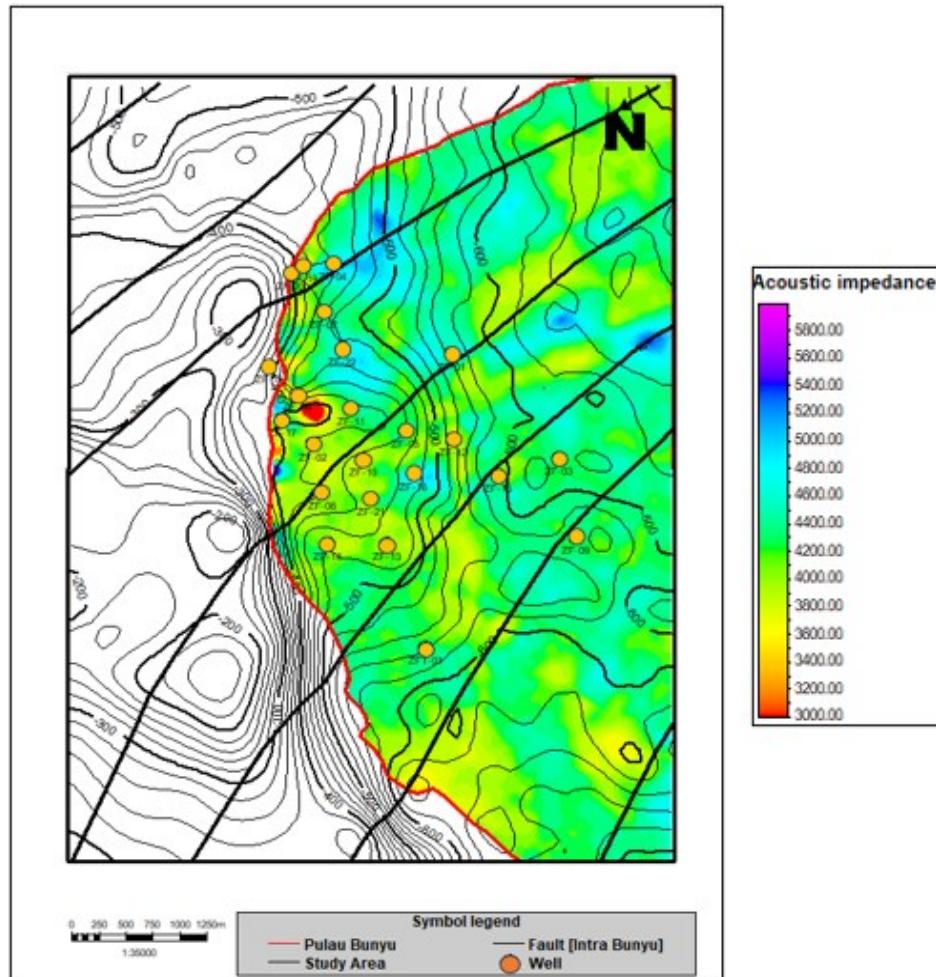
Gambar 26. Penampang hasil inversi AI pada lintasan seismik L87BU-04



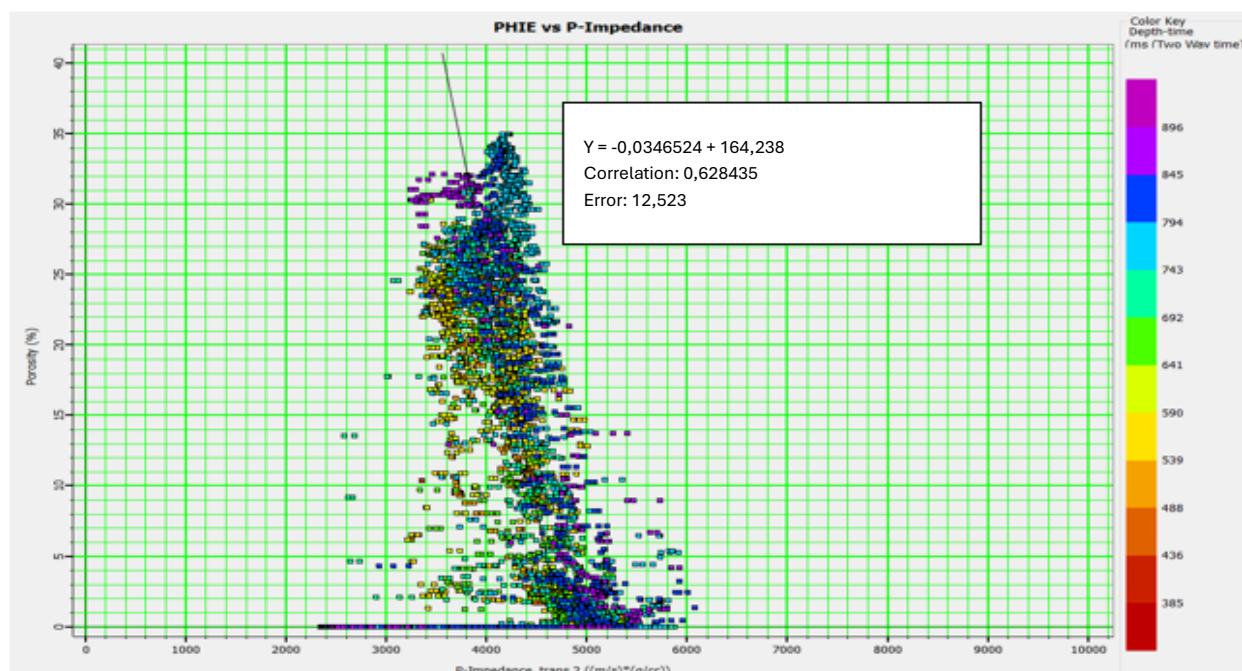
Gambar 28. Penampang hasil inversi AI pada lintasan seismik 617-S89



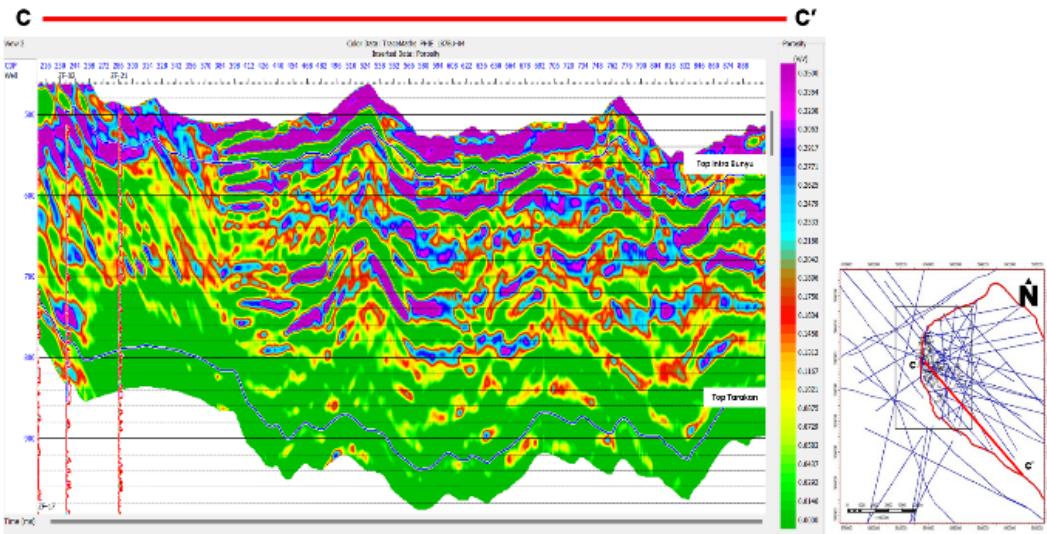
Gambar 29. Penampang hasil inversi AI pada lintasan seismik L155-S86



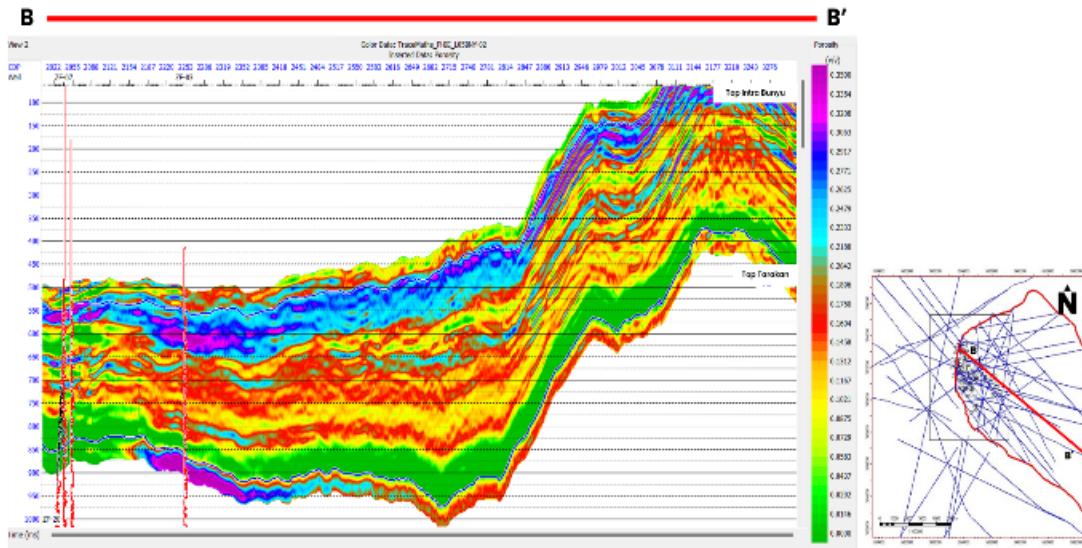
Gambar 30. Peta hasil inversi impedansi akustik top intra



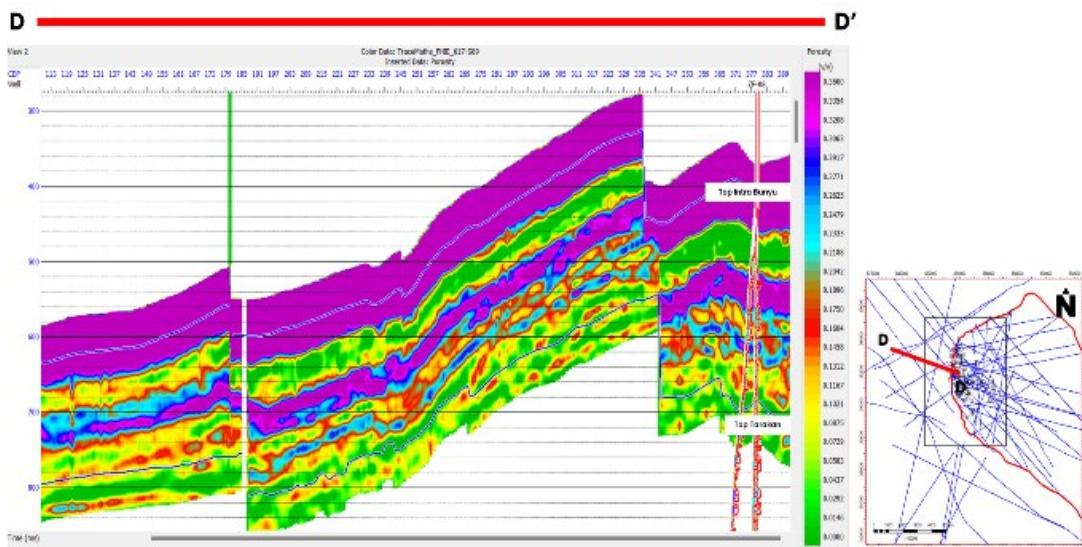
Gambar 31. Hubungan nilai P-impedance dan nilai porositas



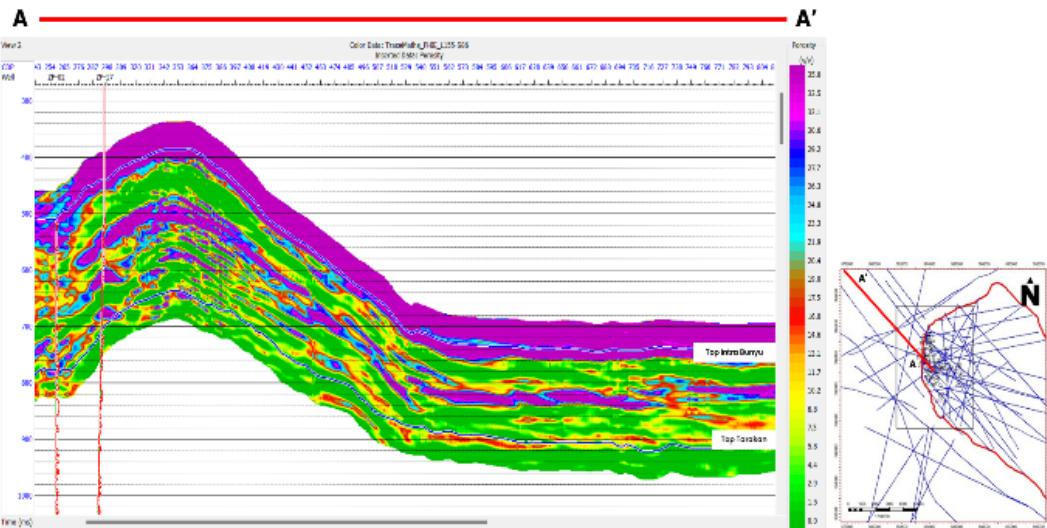
Gambar 31. Hubungan nilai P-impedance dan nilai porositas



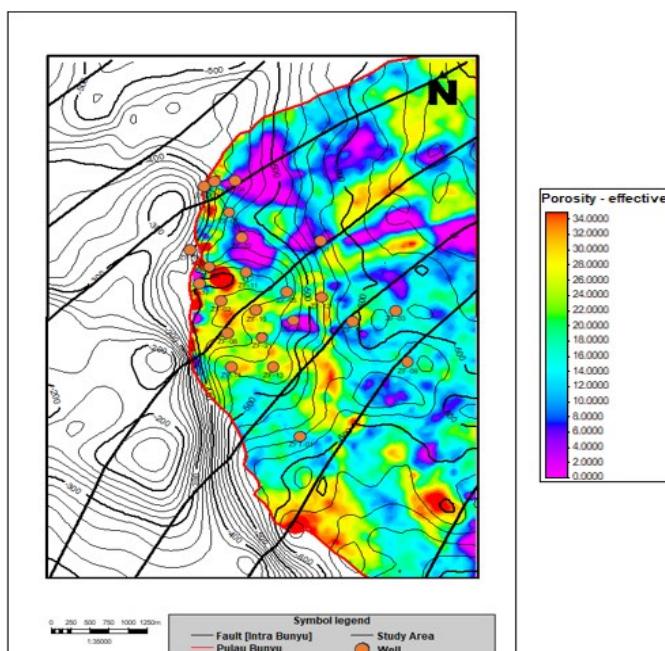
Gambar 33. Persebaran nilai porositas berdasarkan hubungan regresi linear pada lintasan seismik L05BNY-02



Gambar 34. Persebaran nilai porositas berdasarkan hubungan regresi linear pada lintasan seismik 617-S89



Gambar 35. Persebaran nilai porositas berdasarkan hubungan regresi linear pada lintasan seismik L155-S86



Gambar 36. Peta hasil persebaran nilai porositas berdasarkan hubungan regresi linear top intra bunyu

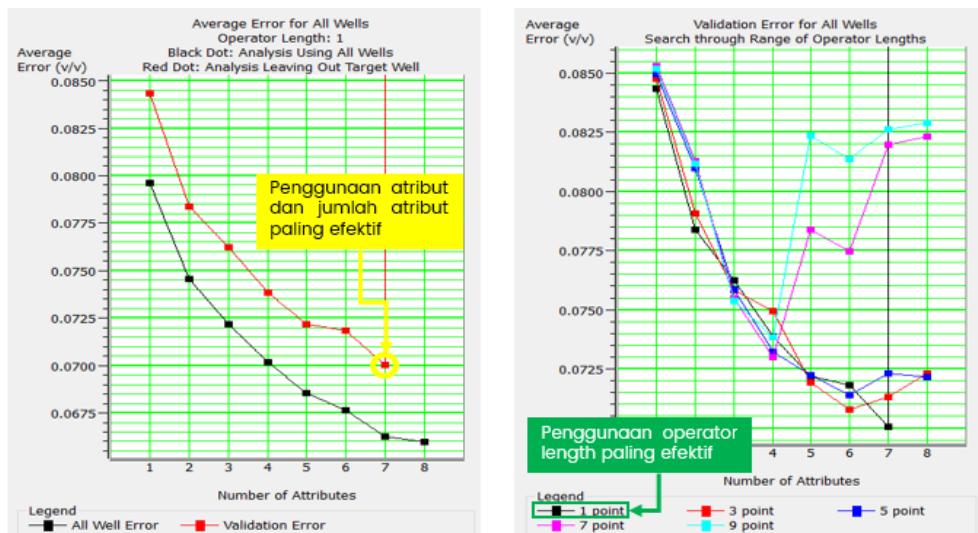
mempengaruhi variasi ketebalan serta kualitas batupasir. Kondisi ini menjelaskan keterbatasan metode multiatribut dan *neural network* yang memerlukan kontinuitas atribut yang baik untuk menghasilkan prediksi porositas yang stabil.

Analisis hasil persebaran porositas berdasarkan hasil inversi impedansi akustik

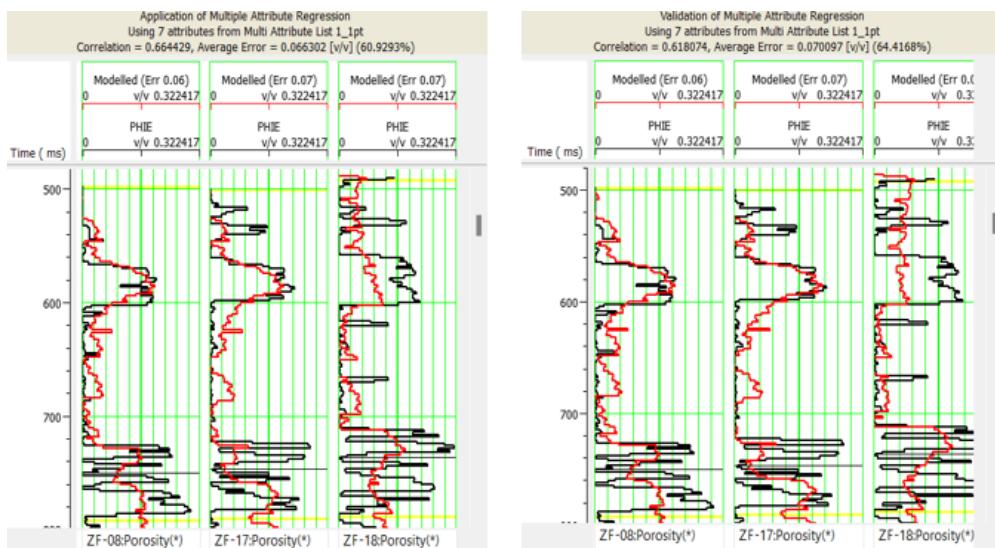
Berdasarkan hasil analisis inversi, korelasi antara nilai impedansi akustik dan porositas ditunjukkan melalui regresi linear pada *crossplot*, dengan *P-impedance* sebagai sumbu x dan porositas sebagai sumbu y yang ditunjukkan pada Gambar 31.

Berdasarkan hubungan tersebut didapatkan persamaan linear untuk dilakukannya transform nilai *P-impedance* menjadi nilai porositas. Sebaran lateral nilai *P-impedance* kemudian akan dilakukan transform untuk didapatkannya sebaran lateral nilai porositas pada daerah penelitian.

Metode ini menghasilkan peta prediksi porositas yang mendukung hasil inversi impedansi akustik seismik. Namun, metode ini memiliki kekurangan karena persebaran nilai porositas didasarkan pada hubungan linear, yang mengasumsikan hubungan antara variabel independen dan dependen bersifat linear.



Gambar 37. Error plot vs attribute number and operator length



Gambar 38. Hasil korelasi training dan validation multiatribut untuk prediksi properti porositas

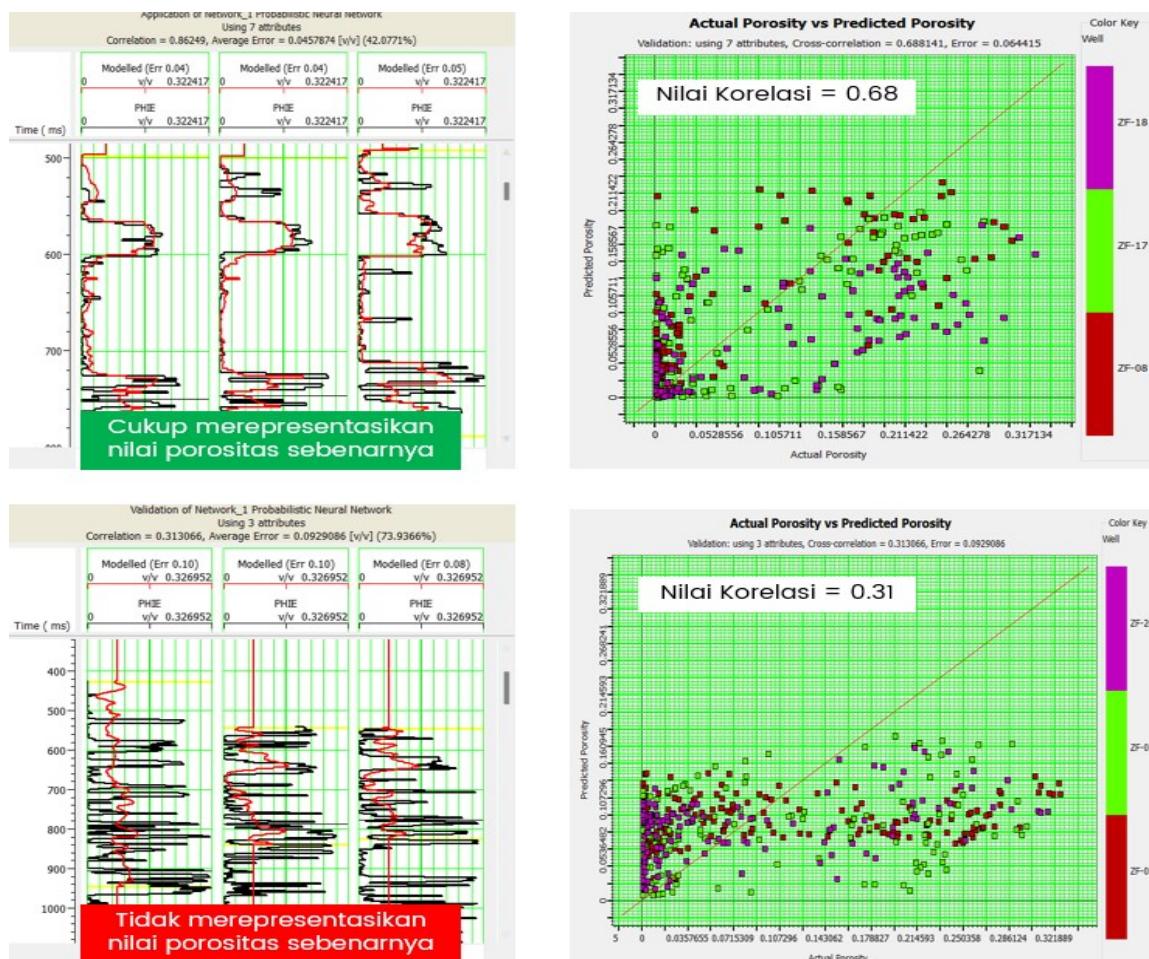
Meskipun ini merupakan alternatif untuk melihat persebaran nilai porositas, bukan satunya metode untuk akurasi yang lebih baik. Nilai porositas dan impedansi akustik memiliki hubungan berbanding terbalik; semakin rendah nilai porositas, semakin tinggi nilai impedansi akustik, dan sebaliknya.

Gambar 32, 33, 34, dan 35 menunjukkan persebaran porositas pada beberapa lintasan seismik, dengan rentang nilai 0% hingga 35%. Gambar 36 menunjukkan bahwa daerah dengan porositas tinggi terhubung dengan batupasir tebal di sepanjang Formasi Bunyu. Batupasir yang tebal, dengan impedansi akustik rendah

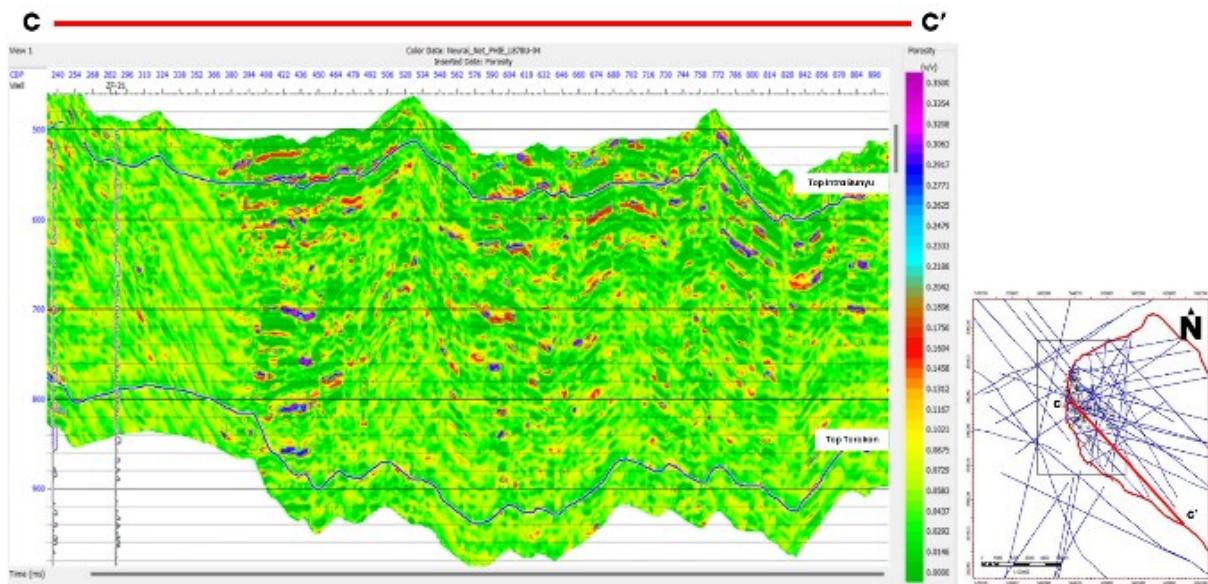
dan nilai porositas tinggi, berpotensi menjadi reservoir analisis hasil multiatribut seismik.

Peta prediksi properti porositas dapat dibuat dengan menggunakan metode multiatribut dan neural network, mirip dengan peta yang dihasilkan dari hubungan impedansi akustik dan porositas melalui regresi linear. Keduanya mendukung hasil inversi impedansi akustik seismik.

Dalam penerapan metode multiatribut, penting untuk mempertimbangkan jumlah atribut yang digunakan. Penentuan jumlah atribut yang efektif dilakukan dengan menganalisis plot error. Penambahan atribut tanpa penurunan nilai error dihindari. Gambar 37 menunjukkan bahwa

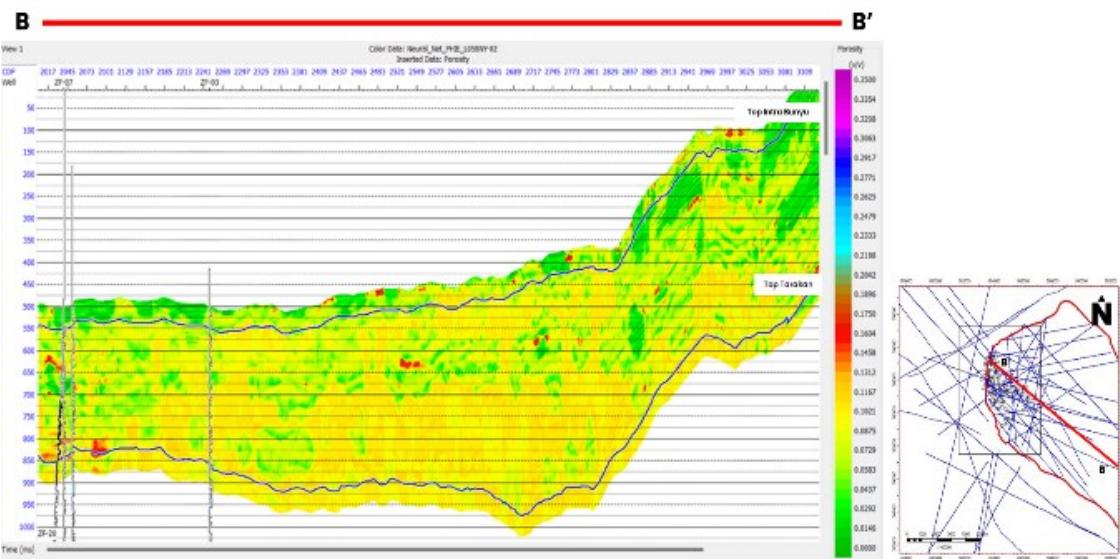


Gambar 39. Analisis training dan validation metode neural network untuk prediksi properti porositas

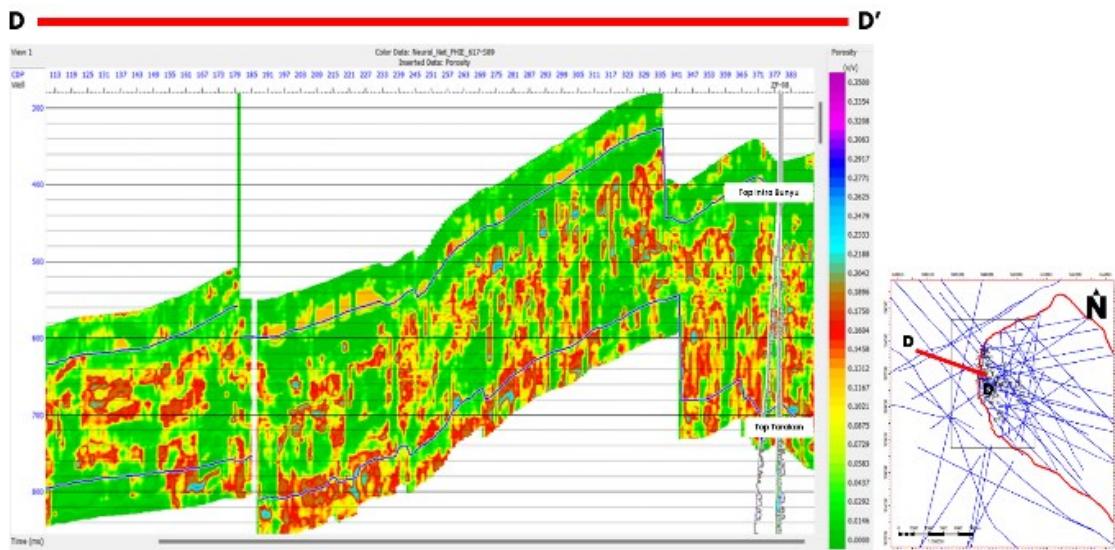


Gambar 40. Persebaran nilai porositas berdasarkan multiatribut dan neural network pada lintasan seismik L87BU-04

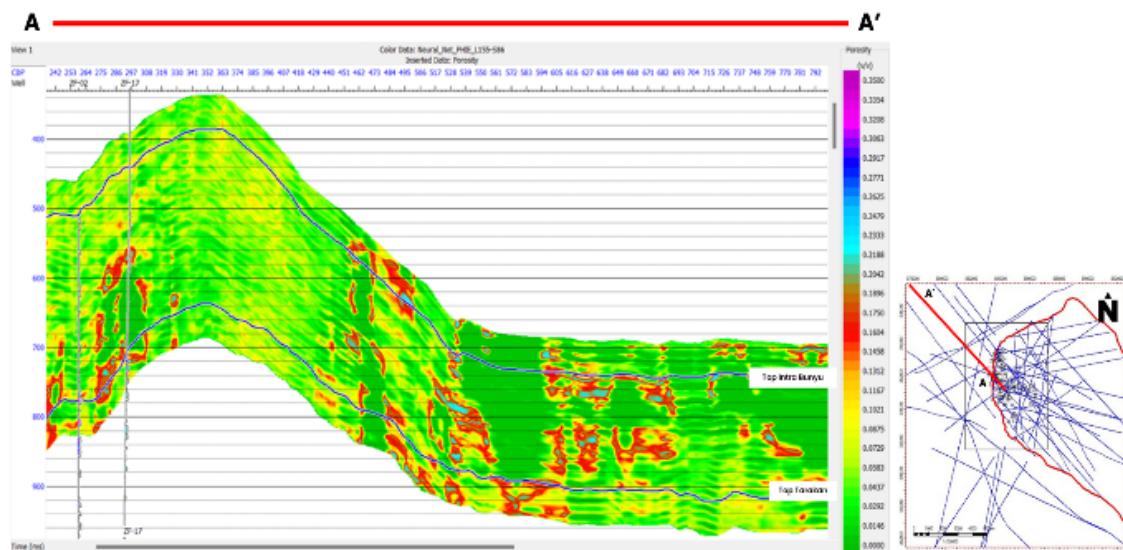
Karakterisasi Reservoir Berdasarkan Analisis Inversi Seismik Impedansi Akustik dan Multiatribut Seismik,
Studi Kasus: Lapangan Bunyu Tapa, Cekungan Tarakan, Kalimantan Utara (Taqiy dkk.)



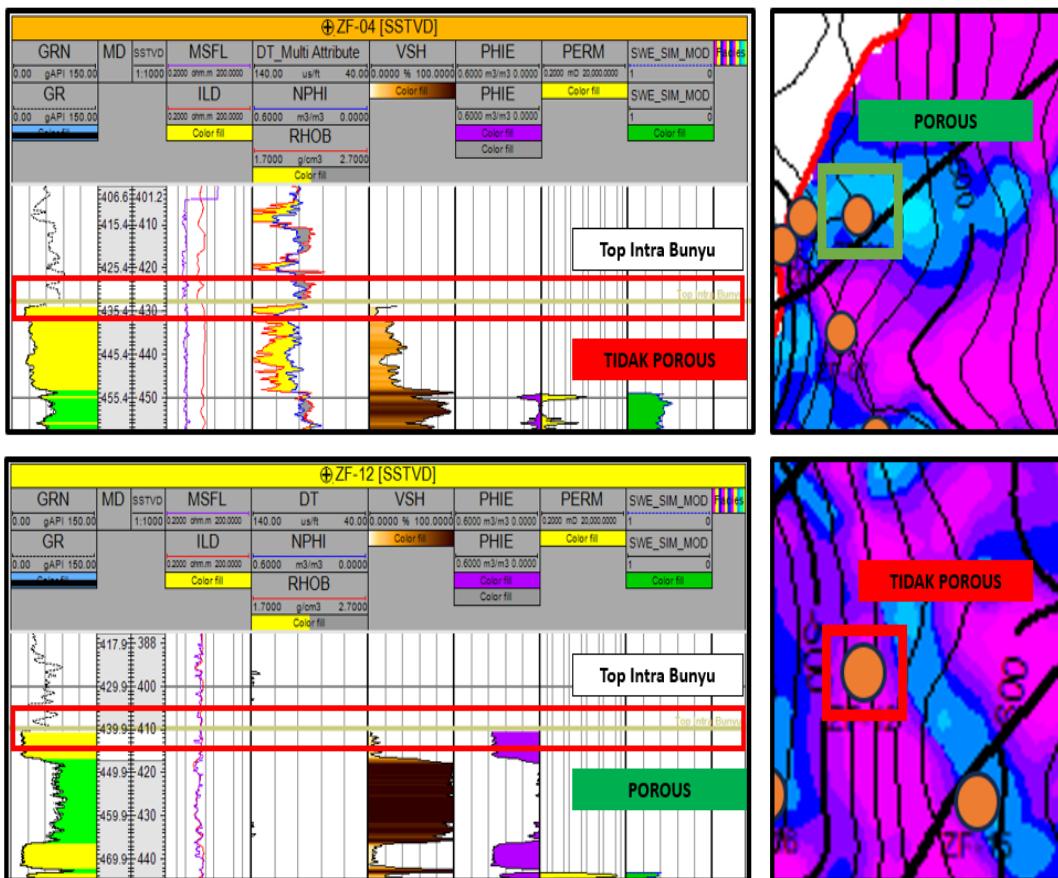
Gambar 41. Persebaran nilai porositas berdasarkan multiatribut dan *neural network* pada lintasan seismik L05BNY-02



Gambar 42. Persebaran nilai porositas berdasarkan multiatribut dan *neural network* pada lintasan seismik 617-S89



Gambar 43. Persebaran nilai porositas berdasarkan multiatribut dan *neural network* pada lintasan seismik L155-S86



Gambar 44. Inkonsistensi hasil peta persebaran properti porositas dengan multiatribut dan neural network dengan data log porositas pada top intra bunyu

penggunaan atribut yang efektif berhenti pada 7 atribut dengan operator length 1 point. Hasil training dan validation, yang ditampilkan pada Gambar 38, menunjukkan nilai error validation sebesar 0,61.

Proses selanjutnya yang dilakukan adalah analisis metode neural network untuk memprediksi sebaran properti porositas pada zona interest daerah penelitian. Penggunaan metode ini diharapkan dapat meningkatkan hasil prediksi menggunakan metode multiatribut seismik.

Analisis menunjukkan bahwa metode neural network menghasilkan hasil yang tidak konsisten. Kesulitan dalam mencapai hasil optimal disebabkan oleh lingkungan pengendapan dan karakteristik litologi daerah penelitian yang memiliki sebaran tidak kontinu, sehingga atribut yang digunakan sulit mencocokkan data training.

Nilai korelasi baik diperoleh saat menggunakan sumur yang berdekatan dan memiliki karakteristik

serupa, tetapi sulit dicapai dalam kondisi berbeda, seperti ditunjukkan pada Gambar 39. Hasil prediksi sebaran properti porositas menggunakan metode neural network ditampilkan pada Gambar 40, 41, 42, dan 43.

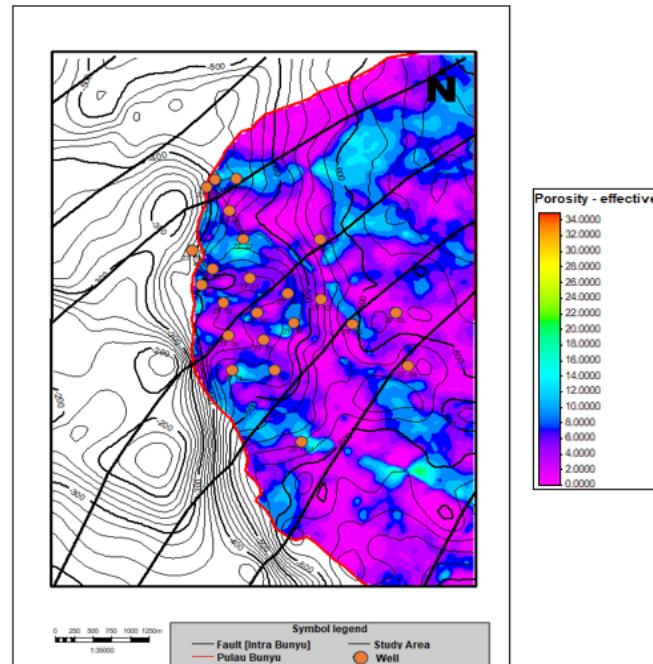
Hasil dari analisis multiatribut dan neural network dibandingkan untuk diterapkan pada data seismik. Tabulasi hasil analisis multiatribut dan neural network disajikan pada Tabel 4.

Dari tabel diketahui bahwa prediksi properti porositas menggunakan neural network memiliki nilai korelasi rata-rata senilai 0.440 sehingga kurang efektif digunakan pada dominan lintasan seismik. Hal tersebut juga didukung oleh inkonsistensi pada hasil peta prediksi persebaran properti porositas dengan penggunaan metode multiatribut dan neural network pada Top Intra Bunyu yang ditunjukkan pada Gambar 44. Seperti interpretasi sebelumnya, daerah potensial reservoir ditandai dengan nilai impedansi akustik rendah dan porositas tinggi.

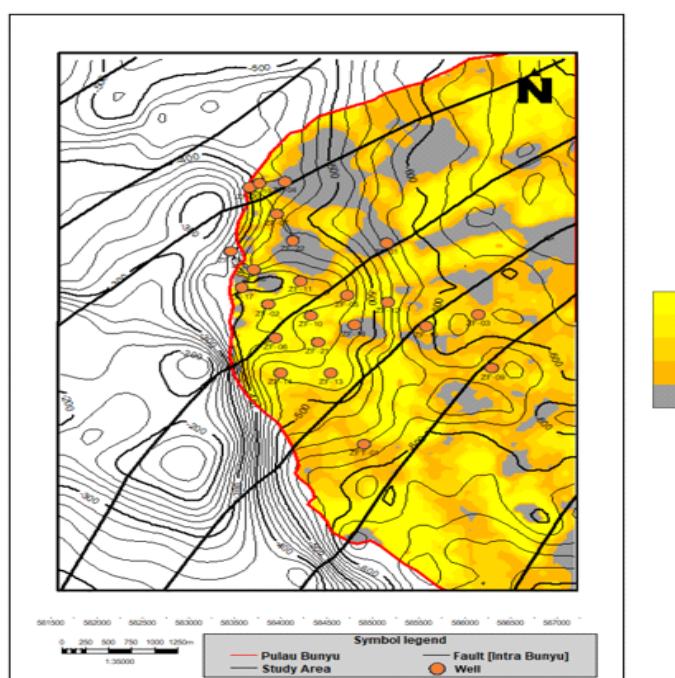
Peta prediksi properti porositas pada Top Intra Bunyu, ditunjukkan pada Gambar 45, tidak secara akurat menggambarkan sebaran nilai porositas. Karena pendekatan menggunakan multiatribut dan neural network kurang efektif, penelitian ini beralih ke pendekatan regresi linear antara nilai impedansi akustik dan porositas, berdasarkan analisis *crossplot*.

Analisis peta prediksi distribusi reservoir

Perhitungan distribusi reservoir dilakukan dengan menganalisis properti porositas untuk memahami karakteristik reservoir. Berdasarkan nilai cut off reservoir pada analisis petrofisika yang dilakukan di Formasi Bunyu, batuan dengan porositas di atas 5% dianggap berpotensi sebagai reservoir.



Gambar 45. Peta hasil prediksi persebaran properti porositas berdasarkan multiatribut dan *neural network* Top Intra Bunyu



Gambar 46. Peta prediksi distribusi reservoir top intra bunyu

Tabel 4. Tabulasi hasil analisis metode multiatribut dan neural network

No	Seismik	Single atribut		Multi Atribut		Neural net		
		Nilai Korelasi	Nilai error [v/v]	Nilai Korelasi	Nilai error [v/v]	Jumlah atribut	Nilai korelasi	Nilai error [v/v]
1	19_BUNYU_ISSA	0.232	0.099	0.266	0.104	2	0.349	0.095
2	21_BUNYU_ISSA	0.424	0.096	0.811	0.062	8	0.944	0.035
3	B8A	0.130	0.096	0.182	0.095	2	275	0.095
4	812	0.264	0.091	0.262	0.091	2	0.265	0.091
5	813	0.311	0.088	0.347	0.086	4	0.32	0.087
6	L155-S86	0.180	0.082	0.238	0.107	8	0.356	0.077
7	L87BU-02	0.355	0.099	0.802	0.063	8	0.962	0.029
8	L87BU-03	0.225	0.100	0.511	0.088	6	506	0.089
9	L87BU-04	0.207	0.082	0.280	0.800	6	276	0.080
10	L87BU-05	0.207	0.074	0.813	0.044	8	0.961	0.021
11	L87BU-06	0.209	0.095	0.412	0.088	5	418	0.088
12	87BU-007	0.187	0.095	0.298	0.094	4	0.173	0.095
13	L87BU-24	0.252	0.095	0.309	0.094	4	0.338	0.092
14	L87BU-29	0.199	0.093	0.134	0.102	7	32	0.097
15	617-S89	0.440	0.080	0.664	0.066	7	0.688	0.064
16	L05BNY-02	0.209	0.096	0.263	0.094	3	0.313	0.093
17	L15BU-002	0.240	0.087	0.114	0.098	1	0.074	0.091
18	L15BU-013	0.210	0.089	0.219	0.091	3	0.372	0.086

Gambar 46 menunjukkan peta prediksi distribusi reservoir di lapangan Bunyu Tapa, di mana persebaran reservoir ditandai dengan warna kuning, menggambarkan batupasir tebal pada Top Intra Bunyu.

KESIMPULAN DAN SARAN

Lapangan Bunyu Tapa secara geologi dikontrol oleh kombinasi proses sedimentasi fluvial – delta plain dan aktivitas tektonik Pliosen hingga Pleistosen Akhir. Lingkungan pengendapan tersebut menghasilkan heterogenitas litologi berupa batupasir berlapis, lempungan, dan lignite yang tersusun tidak kontinu secara lateral maupun vertikal.

Aktivitas tektonik kompresi yang memicu pembentukan sesar mendatar dan lipatan berperan dalam mengontrol distribusi ketebalan batupasir, segmentasi reservoir, serta variasi kualitas reservoir pada interval Intra Bunyu. Hasil inversi seismik impedansi akustik menunjukkan bahwa interval Top Intra Bunyu hingga Top Tarakan memiliki nilai impedansi akustik berkisar antara 2000 - 6000 ((m/s)*(g/cc)), dengan rentang 3200 - 4800 ((m/s)*(g/cc)) diinterpretasikan sebagai batuan porous.

Nilai korelasi inversi sebesar 0,973 menunjukkan kualitas hasil inversi yang sangat baik dan andal untuk karakterisasi reservoir.

Aplikasi metode multiatribut dan neural network menunjukkan efektivitas yang rendah dengan nilai korelasi rata-rata 0,440. Keterbatasan ini disebabkan oleh karakter reservoir Intra Bunyu yang tidak kontinu secara lateral serta kompleksitas fasies deltaik, sehingga hubungan antara atribut seismik dan properti porositas sulit dimodelkan secara konsisten. Analisis hubungan regresi linear antara impedansi akustik dan porositas menunjukkan hubungan berbanding terbalik, dengan porositas berkisar antara 0 – 35%.

Persebaran porositas pada Intra Bunyu dikontrol oleh kombinasi faktor tektonik berupa pengangkatan dan pembentukan sesar mendatar menyebabkan segmentasi reservoir, variasi tingkat kompaksi, serta perbedaan ketebalan batupasir, di mana lingkungan pengendapan pada masa Pleistosen yaitu fluvial – delta plain menghasilkan variasi fasies berupa channel sand berporositas tinggi, sedangkan endapan floodplain – overbank dan pengaruh kompaksi struktural menghasilkan porositas yang lebih rendah.

Heterogenitas ini menegaskan pentingnya pendekatan inversi seismik dalam memetakan

distribusi reservoir pada sistem deltaic kompleks. Interaksi kedua faktor tersebut menghasilkan heterogenitas yang signifikan pada Intra Bunyu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kerjasama Pertamina EP Regional 3 yang telah memfasilitasi dan memberikan izin publikasi hasil penelitian ma Operasi (KSO) Bunyu Tapa Energi dan PT

DAFTAR ISTILAH / SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
AI	Acoustic Impedance, parameter fisis batuan hasil perkalian kecepatan gelombang P dan densitas batuan	((m/s)* (g/cc))
ANN	Artificial Neural Network, metode komputasi berbasis jaringan saraf tiruan untuk prediksi properti reservoir	
Biostratigrafi	Cabang stratigrafi yang menggunakan fosil untuk menentukan umur relatif dan korelasi lapisan batuan	
Checkshot	Data pengukuran waktu tempuh gelombang seismik dari permukaan ke kedalaman tertentu pada sumur	
Composite	Gabungan beberapa lintasan seismik atau data untuk membentuk satu penampang kontinu	
Crossplot	Diagram hubungan dua parameter untuk analisis sensitivitas dan korelasi data	
Cut off	Batas akhir nilai untuk menentukan karakteristik parameter observasi	
Delta Front	Lingkungan pengendapan bagian depan sistem delta yang berasosiasi dengan pasir deltaik	
Delta Plain	Lingkungan pengendapan bagian daratan dari sistem delta	
Fluvial	Lingkungan pengendapan yang dikontrol oleh proses aliran sungai	
Frequency	Jumlah siklus gelombang per satuan waktu, berpengaruh terhadap resolusi vertikal seismik	Hz
Gamma Ray (GR)	Log sumur untuk mengidentifikasi kandungan lempung dan karakter litologi	gAPI
Trace Seismic Transform	Satu rekaman amplitudo seismik sebagai fungsi waktu atau kedalaman	
Tuning Thickness	Proses konversi satu parameter ke parameter lain, misalnya impedansi ke porositas	
Unconformity	Ketebalan minimum lapisan yang masih dapat terdeteksi oleh seismik	
Uplifting	Ketidakselarasan stratigrafi akibat jeda sedimentasi atau erosi	
Wavelet	Proses pengangkatan struktur geologi akibat aktivitas tektonik	
Well Seismic Tie	Gelombang dasar seismik yang merepresentasikan respon sumber dan medium	
Well Tops	Proses pengikatan data sumur dengan data seismik	
Wireline Log	Kedalaman atau waktu penanda batas formasi atau horizon pada data sumur	
	Data pengukuran sifat fisik batuan di dalam lubang sumur	

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, Z., & Setiawan, A. (2016). "Perbandingan Antara Multi Atribut Seismik Regresi Linier dan Multi Atribut Seismik Probabilistic Neural Network Untuk Estimasi Porositas Reservoir Batu Pasir pada Lapangan Minyak Teapot Dome". *Jurnal Fisika Indonesia*, 1-5.
- Barkah, N. C., Susilo, A., Utomo, W., & Shidqii, M. (2024). "Stratigraphic Sequences Analysis Based on Well Log and Petrophysical Calculations in Bunyu Tapa Field, Tarakan Basin, North Kalimantan". *PIT HAGI PADANG 2024. Padang: Himpunan Ahli Geologi Indonesia*.
- Biantoro, E., Kusuma, M. I., & Rotinsulu, L. F. (1996). "Tarakan Sub-basin Growth Faults, North-East Kalimantan: Their Roles Hydrocarbon Entrapment". *Indonesian Petroleum Association 25th Annual Convention*, (pp. 175-189). Jakarta.
- Cooke, D., & Cant, J. (2010). "Model-based Seismic Inversion: Comparing Deterministic and Probabilistic Approaches". *CSEG Recorder*, 29-39.
- Ellen, H., Husni, M. N., Sukanta, U., Abimanyu, R., Feriyanto, & Herdiyan, T. (2008). "Middle Miocene Meliat Formation in the Tarakan Island, Regional Implications for Deep Exploration Opportunity". *Indonesian Petroleum Association 32nd Annual Convention*. Jakarta.
- Maulin, H. B., Sapiie, B., & Gunawan, I. (2021). "Analisis Sesar Tumbuh Pada Sistem Deformasi Delta Tersier di Subcekungan Tarakan, Kalimantan Utara". *Bulletin of Geology*, 5(2), 570-579. doi:10.5614/bull.geol.2021.5.2.1
- Rizqi, M. I., & Firdaus, R. (2021). "Karakterisasi Reservoir Menggunakan Metode Seismik Inversi Acoustic Impedance (AI) dan Seismik Multiatribut dengan Probabilistic Neural Network (PNN) pada lapangan Blok F3, North Sea Netherland". *Journal of Science and Applicative Technology*, 274-284.
- Widarsono, B., Saptono, F., Wong, P. M., Munadi, & Suprajitno. (2002). "Application of Artificial Neural Network for Assisting Seismic-Based Reservoir Characterization". *LEMIGAS Scientific Contribution*, 25(1), 2-11.https://

doi.org/10.29017/SCOG.25.1.879

Wight, A. W., Hare, L. H., & Reynolds, J. R. (1993). "Tarakan Basin, NE Kalimantan, Indonesia: a Century of Exploration and Future Potential". *Geological Society of Malaysia*, 263-288.

Zaemi, F. F., Rohmana, R. C., & Atmoko, W. (2022). "Uncovering The Potential of Low Resistivity Reservoirs Through Integrated Analysis: A Case Study from The Talang Akar Formation in The South Sumatra Basin". *LEMIGAS Scientific Contributions Oil & Gas*, 45(3), 171-183. <https://doi.org/10.29017/SCOG.45.3.1258>