

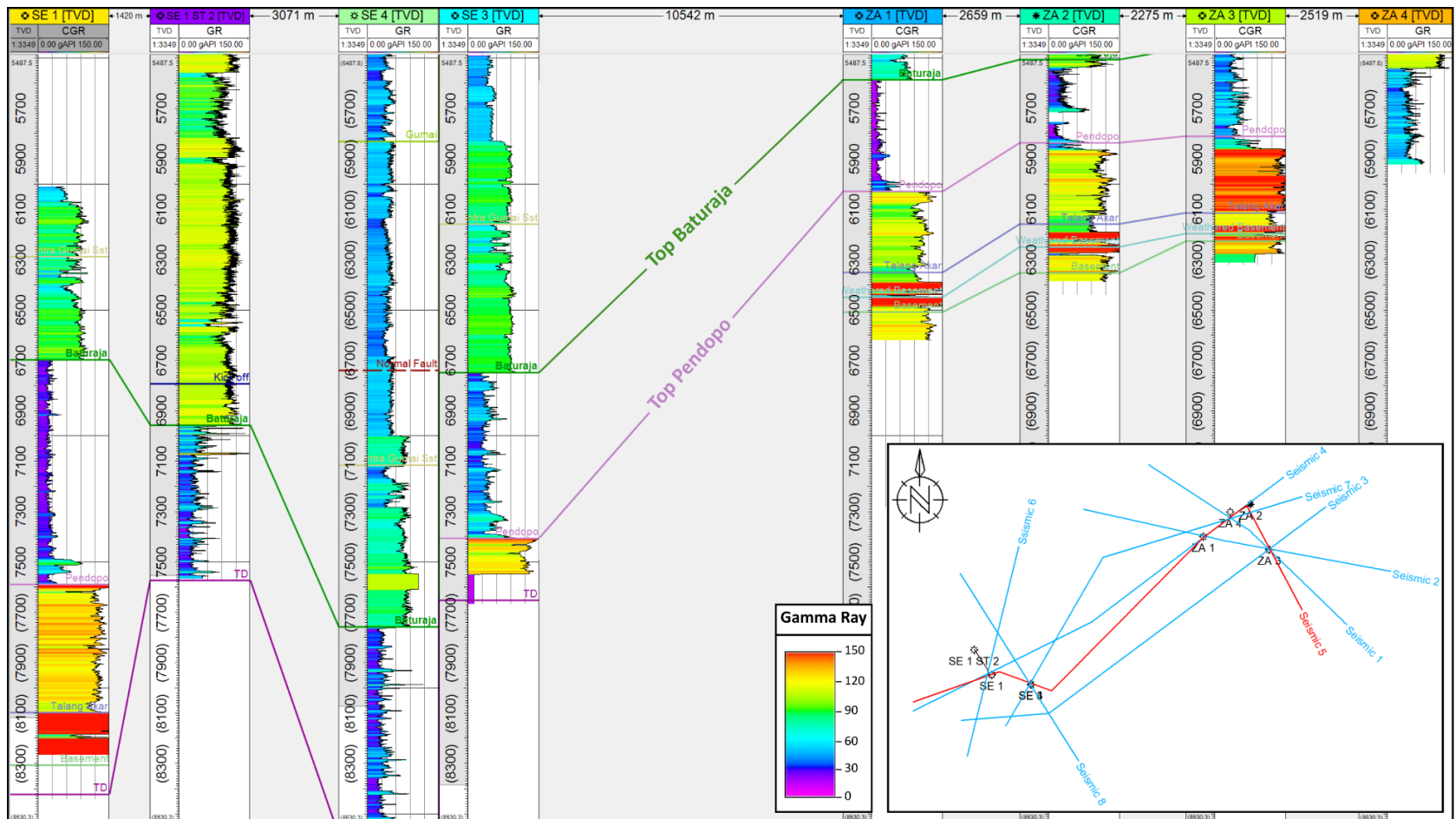
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Well Correlation*

Well correlation menjadi proses awal yang dilakukan selama pengolahan data penelitian. Pada penelitian ini, kedelapan sumur dikorelasikan untuk melihat kedalaman, ketebalan, serta karakteristik litologi dari formasi target. Korelasi dilakukan menggunakan respons *log*, khususnya *log gamma ray*, untuk mengamati perubahan litologi secara vertikal. Berdasarkan hasil korelasi sumur pada gambar 4.1, Formasi Baturaja dapat dikenali melalui penurunan ekstrem nilai *log gamma ray* yang pada area penelitian menunjukkan adanya perubahan litologi secara cepat dari batu serpih menjadi karbonat. Apabila ditinjau berdasarkan studi pengendapan regional serta *final well report*, Formasi Baturaja pada area penelitian tersusun atas karbonat *build-up* yang didominasi oleh batu gamping, mulai dari batu gamping yang relatif bersih hingga batu gamping yang berasosiasi dengan lempung maupun sisipan batu serpih dan batu lanau.

Berdasarkan hasil *well correlation* pada Gambar 4.1, diketahui bahwa Formasi Baturaja pada klaster sumur ZA berada pada kedalaman yang lebih dangkal dibandingkan Formasi Baturaja pada klaster sumur SE. Selain itu, karbonat pada klaster sumur SE yang lebih dalam memiliki ketebalan formasi yang lebih besar dibandingkan karbonat pada klaster sumur ZA. Kondisi ini mengindikasikan bahwa karbonat *build-up* pada klaster sumur SE berkembang pada fase transgresi laut maksimum, ketika lingkungan pengendapan mendukung pertumbuhan karbonat secara optimal sehingga menghasilkan *build-up* yang lebih tebal dan berkembang dengan baik. Sebaliknya, karbonat pada klaster sumur ZA diperkirakan berkembang pada fase transgresi akhir, ketika kenaikan muka laut mulai melambat, sehingga perkembangan karbonat tidak seoptimal pada klaster sumur SE dan menghasilkan ketebalan formasi yang lebih tipis. Secara regional, kondisi ini juga menunjukkan adanya kecenderungan penipisan lapisan Formasi Baturaja dari arah barat daya menuju timur laut.



Gambar 4.1 Well correlation

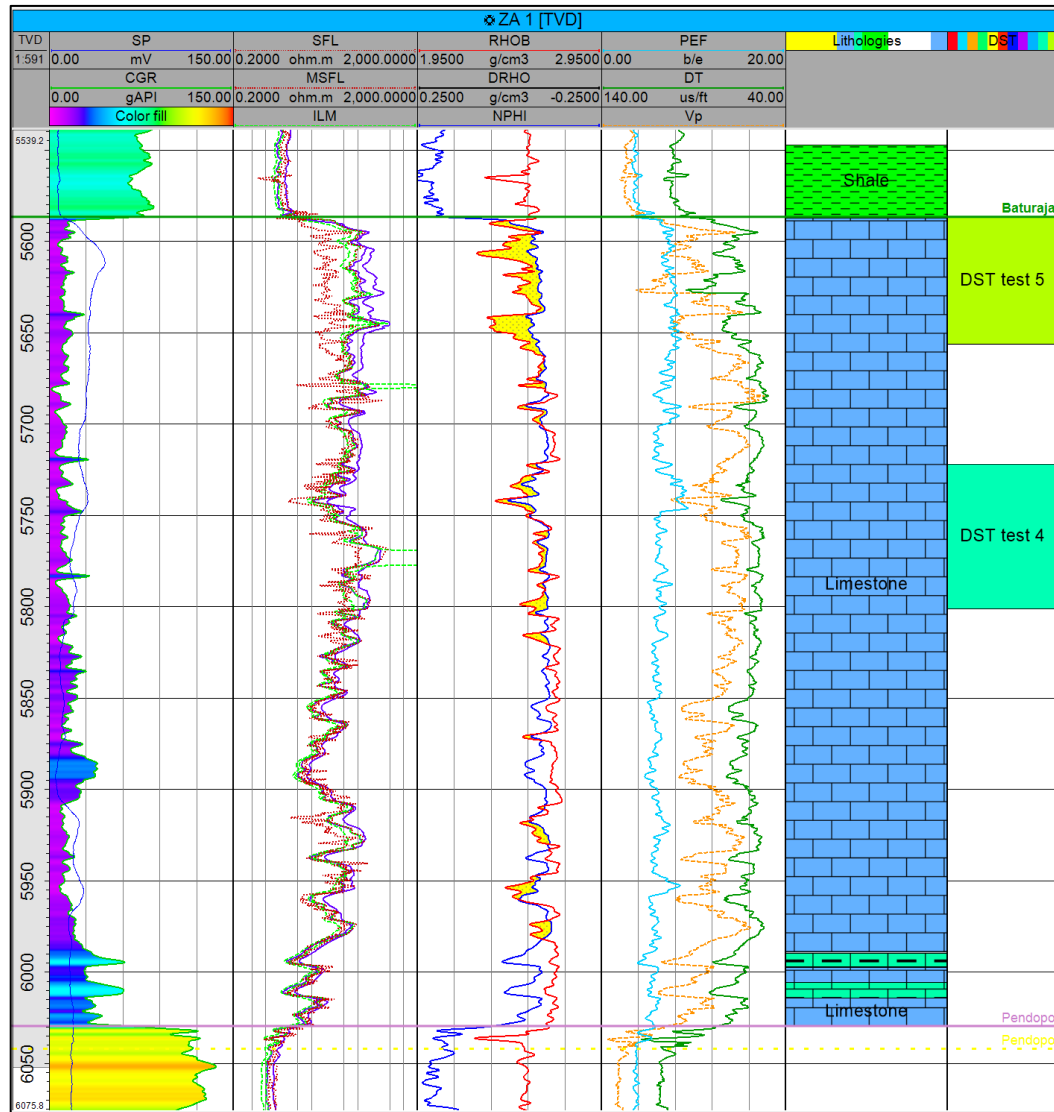
Berdasarkan hasil korelasi sumur untuk menentukan formasi target dengan melihat nilai *log gamma ray*, diperoleh kedalaman serta ketebalan Formasi Baturaja pada masing-masing sumur yang disajikan dalam tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.1 Korelasi kedalaman dan ketebalan antar sumur

Sumur	Kedalaman Top Formasi Baturaja (ft TVD)	Kedalaman Top Formasi Pendopo (ft TVD)	Ketebalan (ft)
ZA 1	5.587	6.031	443
ZA 2	5.816	5.487	329
ZA 3	5.459	5.861	402
ZA 4	5.541	5.900	359
SE 1	6.640	7.531	891
SE 1 ST 2	6.883	7.550	667
SE 3	6.750	7.408	659
SE 4	-	-	-

4.2 Analisis Sumur

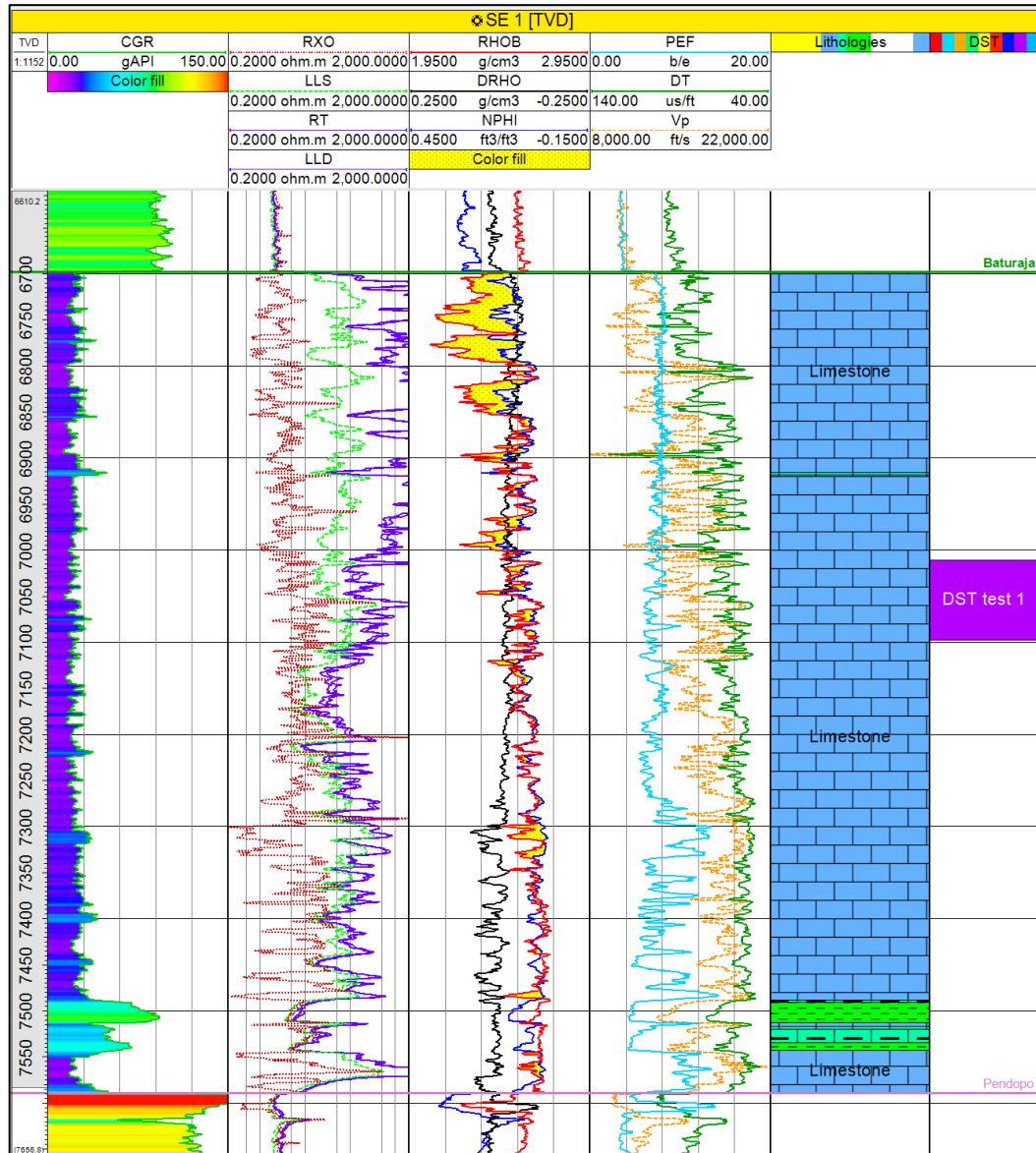
Analisis hubungan kurva *log* dengan indikasi keberadaan hidrokarbon dilakukan terhadap delapan sumur pada daerah penelitian yang terbagi ke dalam dua klaster, yaitu klaster ZA dan klaster SE, dengan masing-masing klaster terdiri atas empat sumur. Dalam pembahasan ini, digunakan satu sumur per klaster sebagai representasi karakteristik *log* masing-masing karbonat *build-up*. Klaster ZA merupakan kumpulan sumur yang berada pada karbonat *build-up* di bagian timur laut zona penelitian. Karbonat pada klaster ini berkembang kurang optimal sehingga memiliki ketebalan reservoir yang relatif lebih tipis. Sampel kurva *log* dari sumur ZA 1 yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 memperlihatkan adanya indikasi hidrokarbon yang ditandai oleh *crossover* antara *log* densitas dan *log* porositas neutron. Selain itu, penurunan nilai V_p atau peningkatan nilai *log* DT, serta tingginya nilai resistivitas pada interval reservoir semakin memperkuat dugaan keberadaan hidrokarbon. Berdasarkan respons *log* tersebut, indikasi hidrokarbon berupa gas yang teridentifikasi mulai dari batas formasi hingga kedalaman sekitar 5.800 ft TVD. Keberadaan hidrokarbon pada interval tersebut kemudian dikonfirmasi melalui uji DST 4 pada interval 5.587-5.663 ft dan DST 5 pada interval 5.721-5.800 ft, yang menunjukkan adanya aliran gas dari formasi.



Gambar 4.2 Well log sumur ZA 1

Sementara itu, klaster SE merupakan kumpulan sumur yang dibor pada karbonat *build-up* di bagian tenggara zona penelitian. Karbonat pada klaster ini berkembang lebih baik dibandingkan karbonat klaster ZA sehingga memiliki ketebalan reservoir yang lebih besar. Sampel kurva *log* dari sumur SE-1 yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 menunjukkan pola *log* yang lebih fluktuatif dibandingkan sumur pada klaster ZA. Kondisi ini mengindikasikan heterogenitas litologi dan variasi sifat fisik batuan akibat kehadiran fluida yang lebih menyebar pada tubuh karbonat klaster SE. Indikasi keberadaan hidrokarbon pada klaster ini juga ditunjukkan oleh adanya *crossover* antara *log* densitas dan *log* porositas neutron. Penurunan nilai *log* densitas mencerminkan rendahnya densitas *bulk*

batuan akibat keberadaan fluida hidrokarbon di dalam pori batuan, sedangkan tingginya nilai resistivitas menunjukkan keberadaan fluida yang lebih resistif dibandingkan air formasi. Keberadaan hidrokarbon pada interval reservoir kemudian dikonfirmasi melalui uji DST pada interval 7.011–7.097 ft MD yang menunjukkan adanya aliran gas dan kondensat, sehingga memvalidasi keberadaan hidrokarbon pada Formasi Baturaja di klaster sumur SE.



Gambar 4.3 Well log sumur SE 1

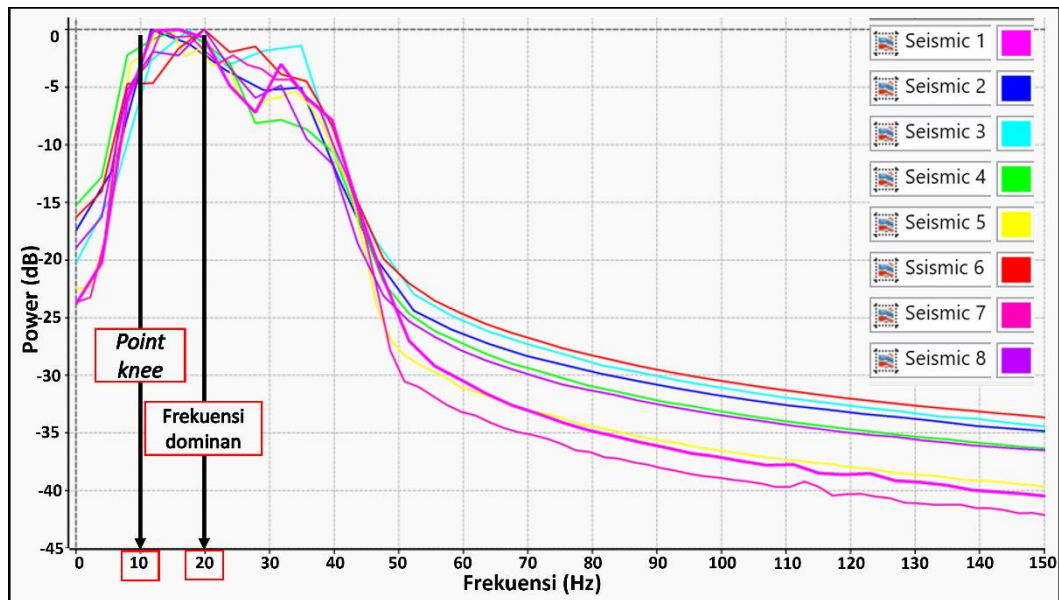
Nilai interval indikasi hidrokarbon, ketebalannya, dan hasil DST ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil analisis *well log*

Sumur	Interval Indikasi Hidrokarbon (MD)	Ketebalan	Hasil DST
ZA 1	5.889-5.806 ft	83 ft	Terbukti
ZA 2	6.806-7.038 ft	232 ft	Tidak dilakukan
ZA 3	5.461-5.603 ft	142 ft	Terbukti
ZA 4	5.540-5.669 ft	129 ft	Tidak dilakukan
SE 1	6.745-7.196 ft	451 ft	Terbukti
SE 1 ST 2	8.971-9.322 ft	351 ft	Tidak dilakukan
SE 3	6.750-7.264 ft	514 ft	Terbukti
SE 4	-	-	-

4.3 Analisis *Tunning Thickness*

Dari analisis spektral yang telah dilakukan, diperoleh frekuensi seismik dominan sebesar 20 Hz pada interval target sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.4. Sementara itu, melalui perhitungan data sumur, didapatkan nilai V_p rata-rata sumur adalah sebesar 14.785 ft/s. Berdasarkan nilai frekuensi dominan dan kecepatan rata-rata tersebut, melalui perhitungan diperoleh panjang gelombang sebesar 739 ft. Kemudian, nilai *tunning thickness* dihitung sebesar $\frac{1}{4} \lambda$, yaitu sekitar 185 ft. Dengan ketebalan formasi yang berkisar antara 330-890 ft, maka formasi berada di atas *batas tunning thickness* dan dapat teresolusi secara seismik.



Gambar 4.4 Analisis spektral zona target

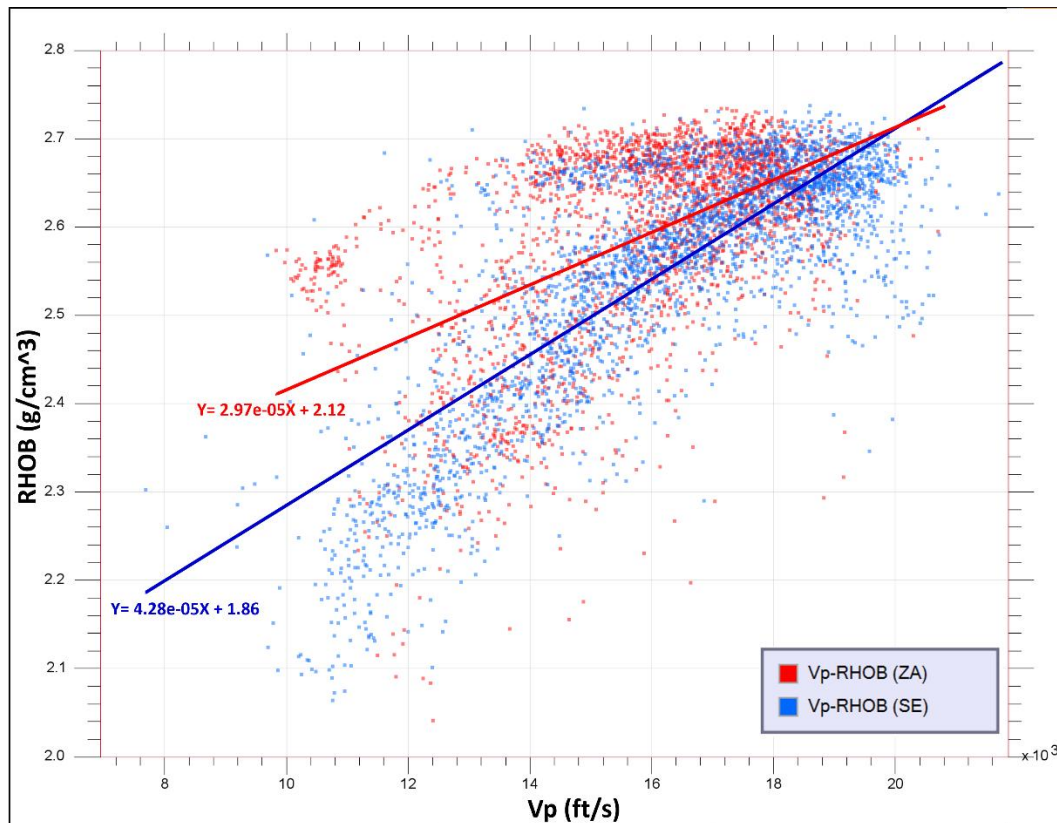
4.4 Analisis *Crossplot*

Analisis crossplot dilakukan untuk mengetahui hubungan parameter batuan

berupa porositas, densitas, AI, dan V_p . Analisis ini juga dilakukan untuk menentukan batas potensial reservoir berdasarkan nilai AI.

4.4.1 Analisis *crossplot* V_p -densitas

Berdasarkan Gambar 4.5 yang menampilkan hasil dari *crossplot* antara V_p dan densitas, kedua parameter menunjukkan kecenderungan hubungan yang relatif linear karena peningkatan nilai densitas diikuti oleh peningkatan nilai V_p . Hubungan ini mencerminkan karakteristik batuan yang mengalami peningkatan *bulk* modulus dan *shear* modulus yang lebih cepat dan besar ketimbang pertambahan nilai densitas. Berdasarkan *crossplot*, pada formasi target ditemukan zona dengan densitas yang relatif tinggi hingga mendekati maksimal, dengan peningkatan nilai V_p yang signifikan. Kondisi ini dapat mengindikasikan adanya variasi sifat batuan akibat pengaruh porositas dan perubahan komposisi litologi.



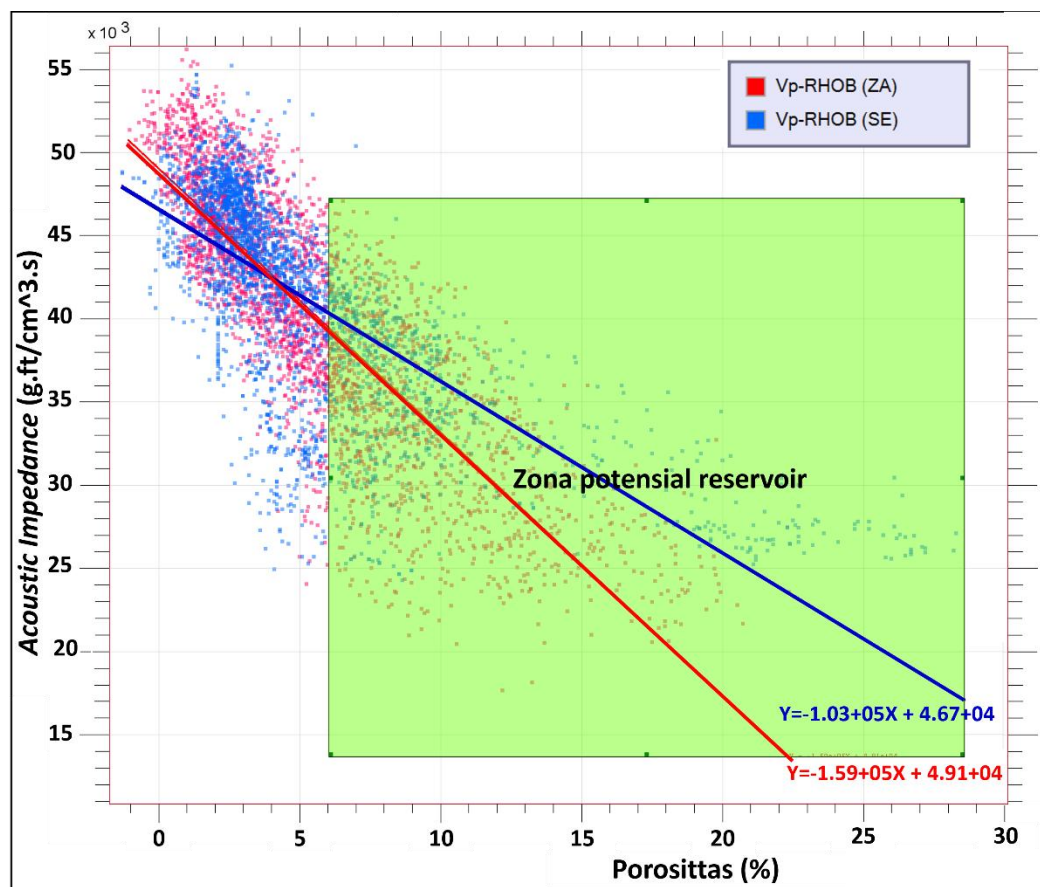
Gambar 4.5 Crossplot V_p -densitas

Selain itu, nilai korelasi pada klaster sumur ZA sebesar 0,54, sedangkan pada klaster sumur SE sebesar 0,79. Nilai korelasi yang lebih tinggi pada klaster sumur SE menunjukkan hubungan antara V_p dan densitas yang lebih konsisten

dibandingkan dengan klaster sumur ZA. Berdasarkan data *final well report*, klaster sumur ZA memiliki variasi litologi karbonat yang lebih beragam, mulai dari *mudstone*, *wackestone*, *packstone*, *grainstone*, hingga *boundstone*. Keberagaman fasies karbonat tersebut menyebabkan variasi sifat fisik batuan, sehingga hubungan antara nilai V_p dan densitas pada klaster sumur ZA menjadi kurang konsisten dibandingkan dengan klaster sumur SE.

4.4.2 Analisis *crossplot* AI-porositas

Crossplot antara porositas dengan AI hanya dilakukan pada 5 sumur dikarenakan keterbatasan data, yaitu ZA 1, ZA 2, ZA 3, SE 1, dan SE 3. Berdasarkan Gambar 4.6, nilai porositas berkorelasi terbalik dengan nilai AI. Hal ini berarti semakin tinggi porositas maka nilai AI akan semakin rendah. Hal ini sesuai dengan fisis yaitu porositas meningkat maka volume ruang kosong batuan juga mengalami peningkatan. Akibatnya penurunan V_p akan terjadi bersamaan dengan penurunan densitas dikarenakan kekakuan batuan berkurang.

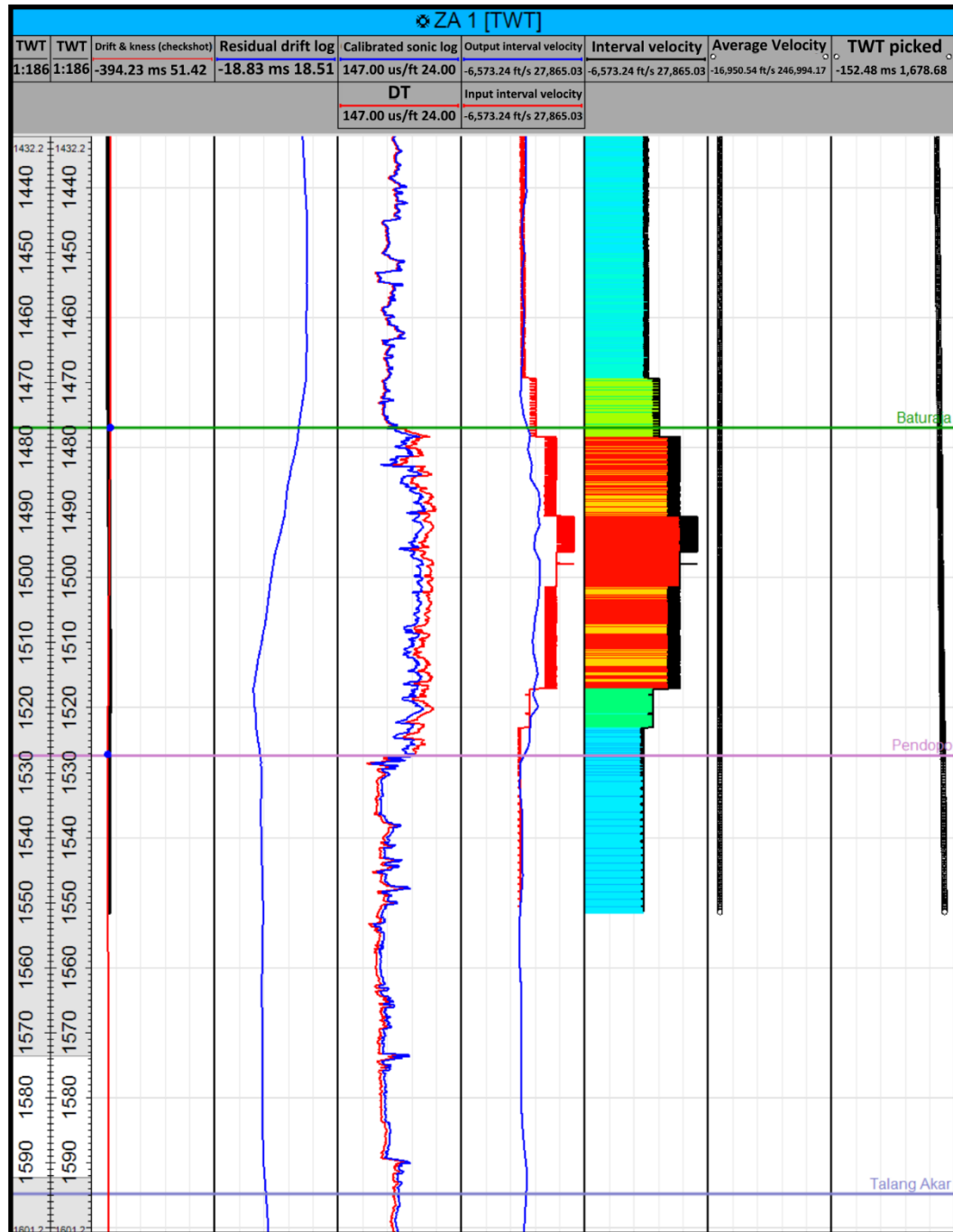


Gambar 4.6 *Crossplot* porositas dengan AI

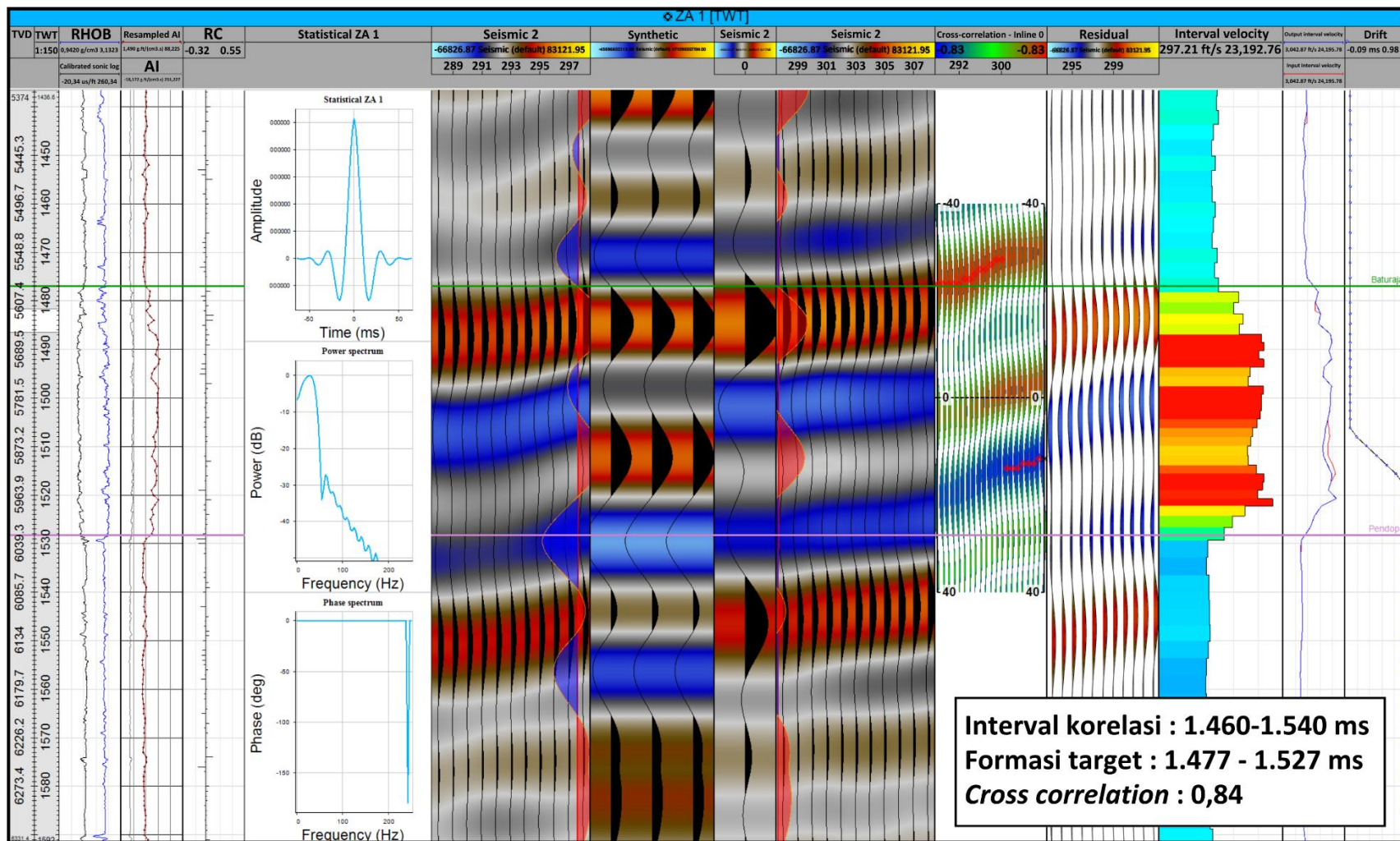
Pada hasil *crossplot* dilakukan penentuan *cut-off* AI untuk reservoir berdasarkan nilai *cut-off* porositas yang telah ditentukan pada area penelitian berdasarkan *final well report* yaitu sebesar 6%, di bawah nilai tersebut batuan menjadi sangat kompak dan pori batuan yang ada tidak efektif sebagai penyimpan hidrokarbon. Zona *cut-off* ditandai dengan warna merah muda yang apabila ditarik terhadap batas nilai AI akan menunjukkan nilai *cut-off* AI berada pada nilai 47.000 g.ft/(cm³.s). Di luar zona tersebut porositas semakin kecil dan nilai AI juga semakin tinggi yang berakibat pada penurunan kualitas reservoir.

4.5 Analisis Well Seismic Tie

Dari tahapan *well-seismic tie* yang telah dilakukan, diperoleh hasil berupa posisi *marker* geologi pada kedalaman sebenarnya yang telah terikat ke dalam domain waktu seismik. Korelasi antara data sumur dan data seismik difokuskan pada interval Formasi Baturaja sebagai target reservoir utama penelitian. Sebagai contoh, hasil *sonic calibration* dan *well-seismic tie* pada Sumur ZA-1 ditampilkan berturut-turut pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8. Pada sumur ini, proses korelasi dilakukan pada rentang waktu 1.460-1.540 ms, yang mencakup interval Formasi Baturaja pada domain waktu, yaitu antara 1.477-1.527 ms. Setelah dilakukan proses korelasi antara seismogram sintetis dengan data seismik, diperoleh nilai *cross-correlation* sebesar 0,84 yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa pola refleksi pada seismogram sintetis telah memiliki kemiripan yang tinggi dengan responss amplitudo pada data seismik di sekitar lokasi sumur. Selain itu, secara visual juga dapat diamati bahwa bentuk gelombang, polaritas, serta karakter amplitudo pada seismogram sintetis telah cukup selaras dengan data seismik aktual. Kesesuaian ini menunjukkan bahwa *wavelet* yang digunakan dan model sintetis yang dibangun telah mampu merepresentasikan responss refleksi bawah permukaan dengan baik pada interval target. Dengan demikian, hasil *well-seismic tie* pada Sumur ZA-1 dinilai valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam interpretasi *horizon*, analisis inversi seismik, serta tahap karakterisasi reservoir selanjutnya.



Gambar 4.7 Sonic calibration sumur ZA 1



Gambar 4.8 Well seismic tie pada sumur ZA 1

Proses *well seismic tie* dilakukan terhadap 5 sumur yaitu ZA 1, ZA 2, ZA 3, SE 1, dan SE 5. Ketiga sumur lainnya tidak dilakukan *well seismic tie* dikarenakan keterbatasan data *log sonic*, densitas, maupun *checkshot* yang mengakibatkan pembuatan koefisien refleksi tidak dapat dilakukan. Hasil proses *well seismic tie* pada seluruh sumur lainnya ditampilkan pada tabel 4.3 berikut:

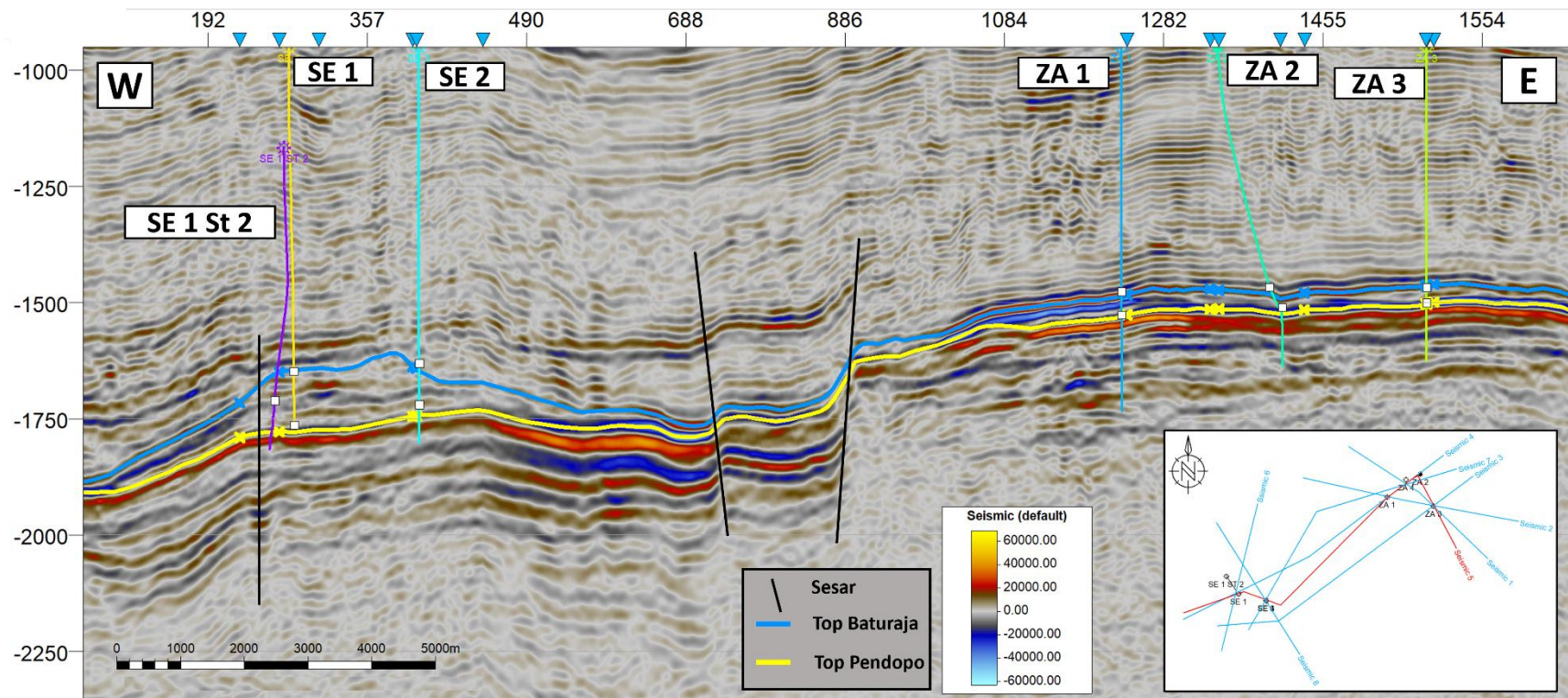
Tabel 4.3 Hasil *well seismic tie*

Sumur	Interval Korelasi (ms)	Interval Formasi Target (ms)	Nilai korelasi
ZA 1	1.460-1.540	1.477-1.527	0,84
ZA 2	1.450 -1.550	1.467-1.511	0,94
ZA 3	1.450-1.520	1.468-1.501	0,9
SE 1	1.640-1.770	1.648-1.764	0,82
SE 3	1.650-1.750	1.656-1.738	0,97

Dari tabel hasil *well seismic tie*, didapatkan korelasi yang tinggi pada semua sumur. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pencocokan antara *synthetic* seismogram dengan data seismik melalui tahapan *well seismic tie* telah dilakukan dengan baik dan kesesuaian antar kedua data dapat diterima untuk kemudian digunakan dalam tahap selanjutnya.

4.6 Interpretasi Seismik

Interpretasi seismik dilakukan setelah proses *well seismic tie* dengan melakukan *picking horizon* dan *picking fault*. *Picking horizon* dilakukan terhadap kemenerusan reflektor lintasan seismik pada batas *top* Formasi Baturaja dan *top* pendopo yang menjadi *base* Formasi Baturaja. Polaritas pada data ditetapkan sebagai polaritas normal atau standar SEG dengan peningkatan AI ke bawah antar dua lapisan ditentukan sebagai *peak* yang berkorelasi dengan peningkatan amplitudo atau garis reflektor berwarna merah. Melalui hal tersebut, *picking* pada *top* Formasi Baturaja ditetapkan untuk dilakukan pada *horizon* berwarna biru dan *picking* pada *top* Formasi Pendopo dilakukan pada *horizon* berwarna merah. Berdasarkan hasil *picking horizon* dan *fault* pada penampang seismik 5 yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9, *top* Formasi Baturaja ditandai dengan garis berwarna biru, sedangkan *top* Formasi Pendopo atau *base* Formasi Baturaja ditandai dengan garis berwarna kuning.



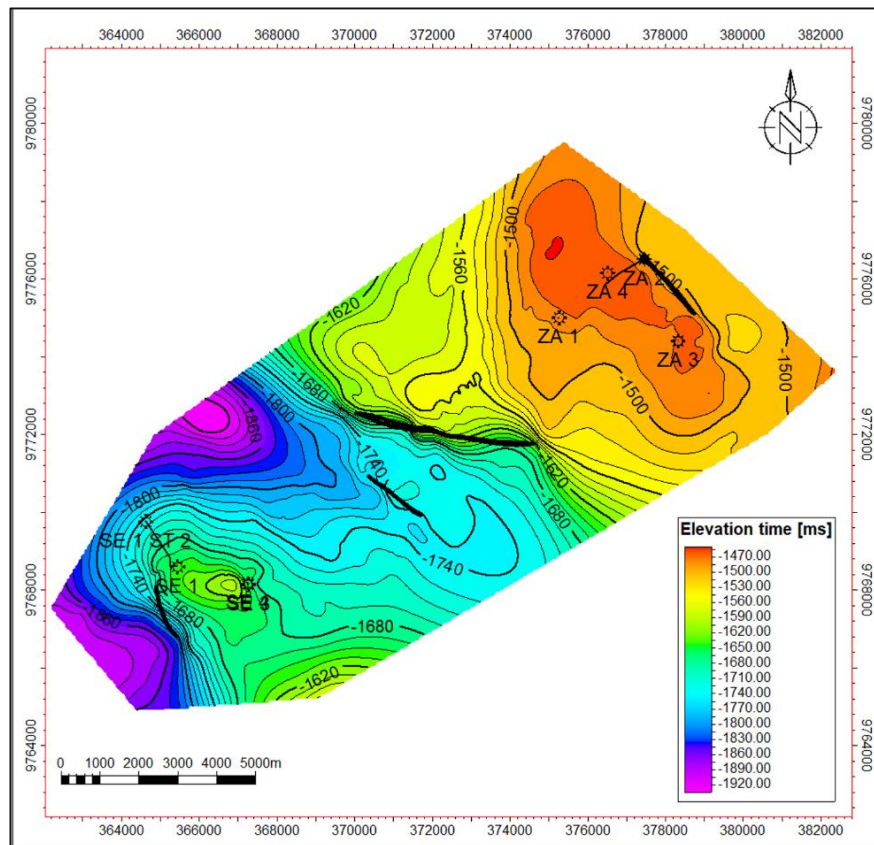
Gambar 4.9 *Picking horizon dan fault pada penampang seismik 5*

Interpretasi kemenerusan *horizon* relatif mudah dilakukan pada klaster sumur ZA karena batas *top* Formasi Baturaja pada klaster sumur ini dicirikan oleh reflektor terang berwarna merah (*peak*). Reflektor ini merepresentasikan batas peralihan antara lapisan batuan dari Formasi Gumai yang dominan oleh batu serpih dengan AI rendah menuju batuan karbonat dari Formasi Baturaja dengan AI yang lebih tinggi. Sementara itu, pada klaster sumur SE proses *picking horizon top* Baturaja perlu dilakukan dengan lebih hati-hati. Hal ini dikarenakan batas reflektor yang terlihat cenderung tidak jelas akibat adanya karbonat *build-up* yang lebih berkembang ketimbang karbonat *build-up* pada klaster sumur ZA. Meskipun demikian, *horizon* tersebut masih dapat ditelusuri melalui kontinuitas reflektor pada penampang seismik. Pada bagian *base* formasi, proses *picking horizon* cenderung lebih mudah dilakukan karena dicirikan oleh reflektor terang berwarna biru (*trough*). Reflektor ini merepresentasikan batas peralihan dari batuan karbonat Formasi Baturaja ke batu pasir Formasi Talang Akar yang memiliki AI lebih rendah.

Sesar yang berada pada area target juga perlu dilakukan interpretasi karena keberadaannya dapat berperan sebagai pembatas reservoir yang berfungsi sebagai jalur migrasi maupun perangkap (*trap*) pembatas reservoir. Berdasarkan hasil interpretasi sesar dan juga *horizon* seismik secara 3D pada Gambar 4.9, terdapat adanya 4 sesar berarah barat laut-tenggara yang berada di sekitar klaster sumur. Arah sesar hasil interpretasi telah sesuai dengan tren sesar yang terbentuk secara regional pada Cekungan Sumatera Selatan.

4.7 Analisis Time Structure Map

Peta struktur waktu merepresentasikan kedalaman lapisan *top* dan *base horizon* formasi target dalam domain waktu pada area penelitian. Peta ini dibangun berdasarkan hasil *picking horizon* pada *top* Formasi Baturaja dan Pendopo yang kemudian dilakukan tahapan *gridding* atau pembuatan peta surface. Berdasarkan Gambar 4.10 *top* Formasi Baturaja berada pada rentang nilai waktu antara 1.470-1.920 ms, dengan tinggian berada pada bagian timur laut peta dan semakin merendah ke arah barat daya. Nilai interval kedalaman ini ditunjukkan oleh perubahan warna secara kontinu dari merah hingga ungu sesuai pada Gambar 4.10.



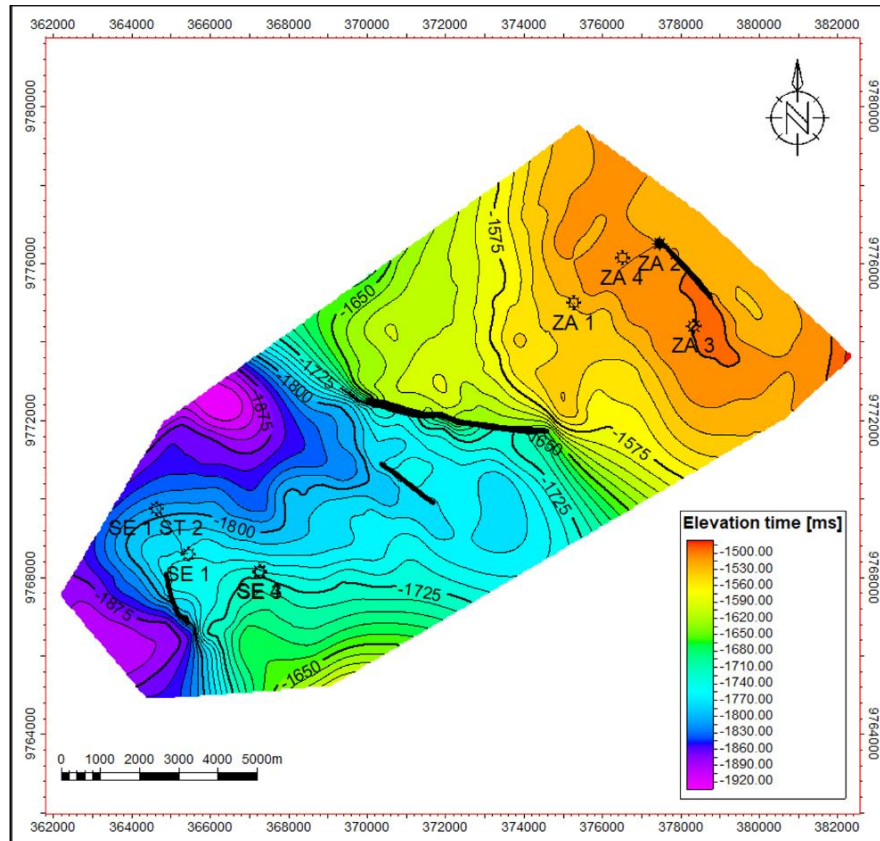
Gambar 4.10 Time structure map Formasi Baturaja

Klaster sumur ZA dan SE, keduanya diinterpretasikan sebagai karbonat *build-up* yang membentuk perangkat struktural dan stratigrafi. Klaster sumur ZA berada pada daerah tinggian di bagian timur laut peta, dengan rentang waktu sekitar 1.470-1.500 ms yang ditunjukkan oleh warna jingga hingga kuning. Struktur karbonat *build-up* pada area ini cenderung luas dan melampar dengan kontur tertutup, namun kurang tergambarkan dengan baik di bagian utara klaster. Hal ini disebabkan terbatasnya data seismik yang diperoleh, sehingga interpolasi yang dijalankan tidak bisa merepresentasikan struktur geologi sebenarnya dengan baik.

Pada bagian timur klaster sumur ZA, terdapat sesar yang berperan sebagai pembatas struktur. Sementara itu, klaster sumur SE berada pada bagian yang lebih dalam di sisi barat daya peta dengan rentang waktu 1.600-1.800 ms yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga biru. Pada pola kontur struktur di area ini, terlihat adanya peninggian di bagian tengah klaster sumur dengan kontur tertutup (*close contour*) sempit, yang menjadi ciri adanya struktur geologi karbonat *build-up*. Pada bagian barat klaster sumur SE juga dijumpai sesar yang membatasi

struktur karbonat. Pada bagian tengah peta dapat diamati adanya zona rendahan yang dipengaruhi oleh sesar. Zona ini menjadi daerah yang memisahkan kedua struktur karbonat pada area penelitian.

Selanjutnya, Gambar 4.11 menunjukkan peta struktur waktu Formasi Pendopo dengan rentang nilai waktu antara 1.500-1.920 ms.



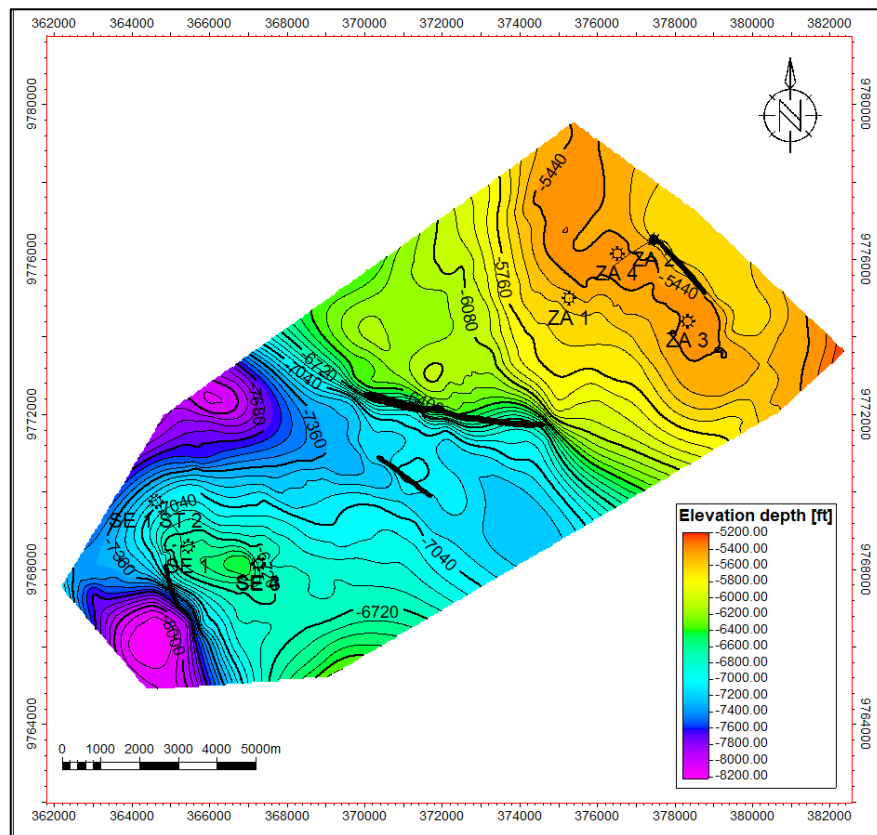
Gambar 4.11 Time structure map Formasi Pendopo

Sama seperti peta Formasi Baturaja, zona tinggian klaster sumur ZA teridentifikasi berada di bagian timur laut peta dengan rentang nilai waktu 1.500-1.550. Pada zona rendahan, klaster sumur SE berada di bagian barat daya peta dengan rentang waktu antara 1.700-1.900 ms. Pada bagian tengah peta, terdapat zona rendahan yang terpengaruh oleh sesar yang menjadi zona batas antara dua klaster sumur.

4.8 Analisis Depth Structure Map

Hasil peta struktur kedalaman Formasi Baturaja diunjukkan pada Gambar 4.12. Peta ini menunjukkan rentang kedalaman *top* Formasi Baturaja dari

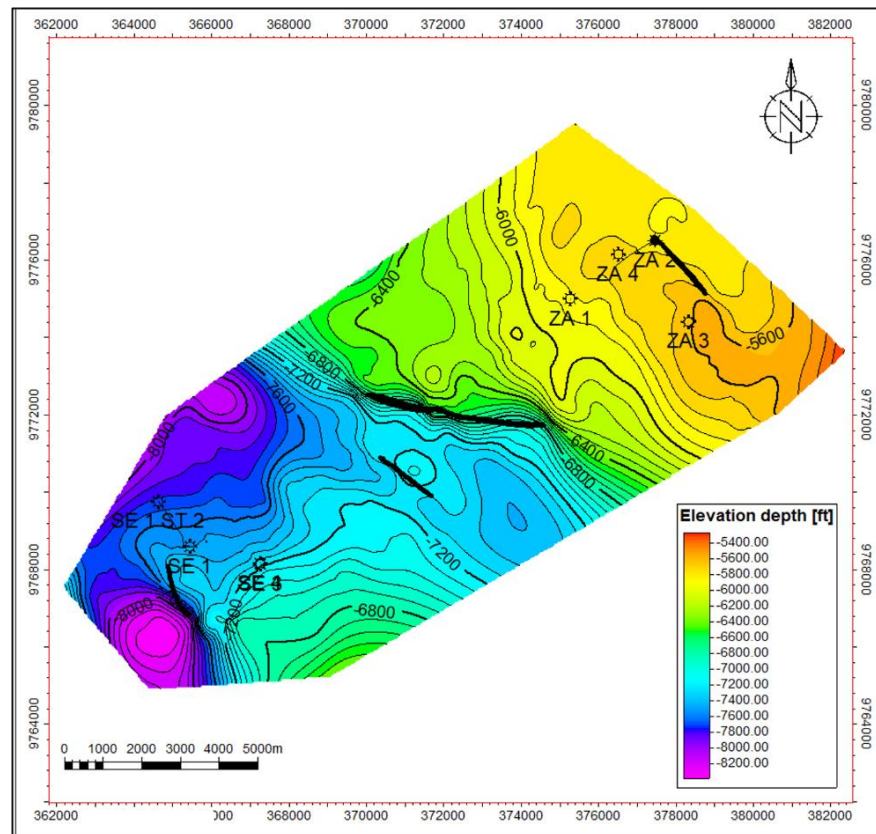
kedalaman 5.200-8.200 ft yang ditunjukkan oleh warna merah hingga ungu. Semakin dalam maka warna *surface* akan mendekati warna ungu.



Gambar 4.12 Depth structure map Formasi Baturaja

Tinggian klaster sumur ZA yang berada di bagian timur laut peta berada pada kedalaman 5.400-5.600 ft yang ditunjukkan oleh warna jingga hingga kuning. Zona rendahan klaster sumur SE berada pada kedalaman antara 6.600-6.900 ft yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga biru. Di tengah kedua klaster sumur, terdapat struktur rendahan yang terpengaruh oleh keberadaan sesar, yang menjadi batas kedua klaster sumur dengan kedalaman sekitar 7.200-7.400 ft.

Peta struktur kedalaman Formasi Pendopo ditunjukkan oleh Gambar 4.13. Pada gambar tersebut, *top* Formasi Pendopo berada pada rentang kedalaman 5.400-8.000 ft yang ditunjukkan oleh warna merah hingga ungu. Pada klaster sumur ZA kedalaman *top* Formasi Pendopo berada pada rentang 5.600-6.000 ft yang ditunjukkan oleh warna jingga hingga kuning. Pada rendahan klaster sumur SE, kedalaman *top* Formasi Pendopo berada pada rentang kedalaman 7.400-8.500 ft yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga biru muda.

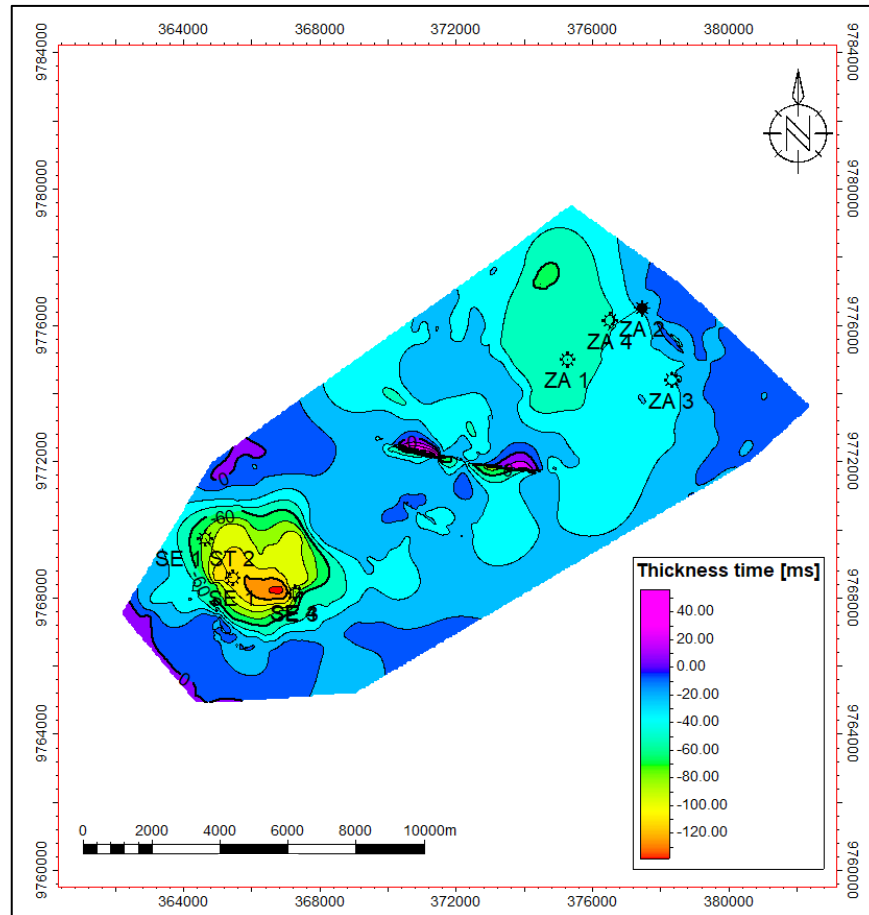


Gambar 4.13 Depth structure map Formasi Pendopo

4.9 Peta Ketebalan

Peta ketebalan dibuat untuk menggambarkan distribusi ketebalan Formasi Baturaja pada area penelitian. Peta ini disusun berdasarkan hasil interpretasi *horizon top* dan *base* formasi. Pada penelitian ini digunakan dua jenis peta ketebalan, yaitu dan peta *isopach* yang merupakan peta ketebalan dalam domain waktu dan peta *isochore* yang merupakan peta ketebalan dalam domain kedalaman.

Gambar 4.14 menunjukkan peta *isopach* Formasi Baturaja. Rentang ketebalan Formasi Baturaja berada 0-120 ms, dengan ketebalan 0 ms berarti formasi mengalami penipisan hingga sangat mendekati lapisan formasi dibawahnya. Namun dikarenakan data seismik yang terbatas, nilai 0 ms ketebalan juga dapat berarti algoritma interpolasi yang bekerja kurang baik akibat kekurangan data.

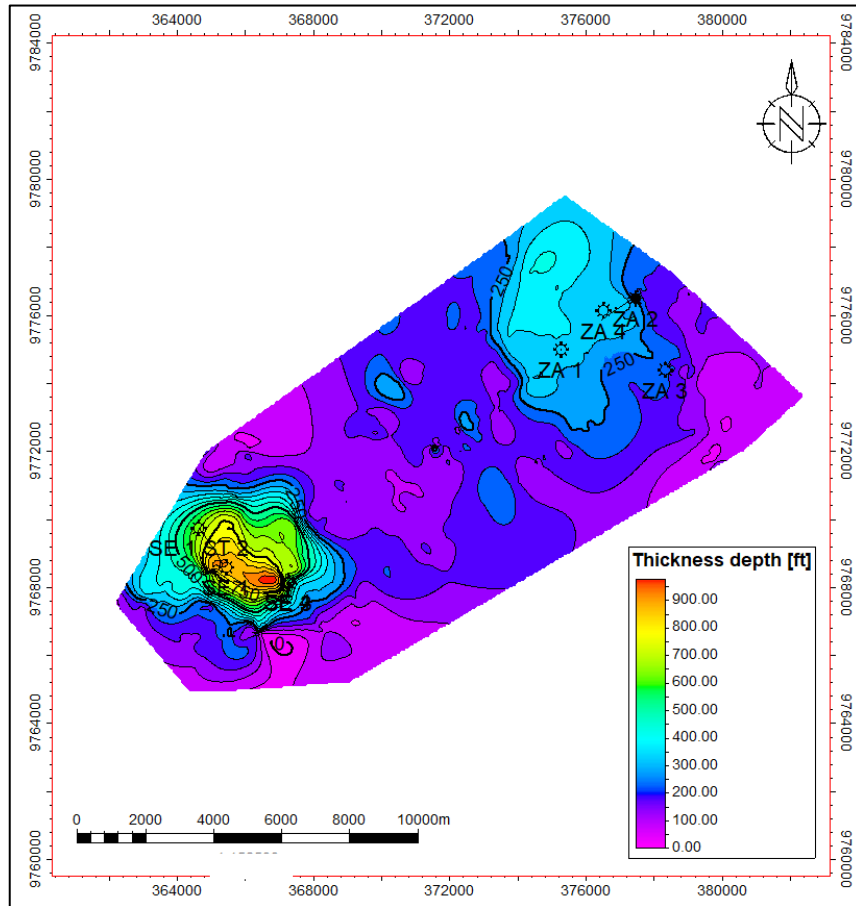


Gambar 4.14 Peta *isopach*

Distribusi ketebalan lapisan formasi menunjukkan bahwa pada klaster ZA Formasi Baturaja memiliki ketebalan yang lebih tipis ketimbang klaster SE dan hampir seragam dengan rentang ketebalan antara 30-60 ms. Pada klaster sumur SE, ketebalan meningkat secara bertahap hingga ke tengah klaster dengan rentang ketebalan antara 60-120 ms. Formasi Baturaja pada klaster ZA berkembang lebih tipis dan melampar, sedangkan pada klaster SE menunjukkan perkembangan karbonat *build-up* yang lebih baik sehingga menghasilkan ketebalan formasi yang lebih besar.

Peta *isochore* menunjukkan distribusi ketebalan lapisan formasi dalam domain kedalaman. Ketebalan lapisan formasi dihitung secara vertikal berdasarkan selisih kedalaman antara *top* Formasi Baturaja dengan *top* Formasi Pendopo. Gambar 4.15 menunjukkan peta *isochore* Formasi Baturaja. Sama seperti peta *isopach*, distribusi ketebalan tertinggi berada pada klaster SE dengan interval

ketebalan tertinggi hingga 900 ft yang ditunjukkan oleh warna merah. Pada klaster ZA, distribusi ketebalan cenderung lebih tipis dan seragam dengan ketebalan 300-450 ft yang ditunjukkan oleh warna biru muda hingga biru tua.



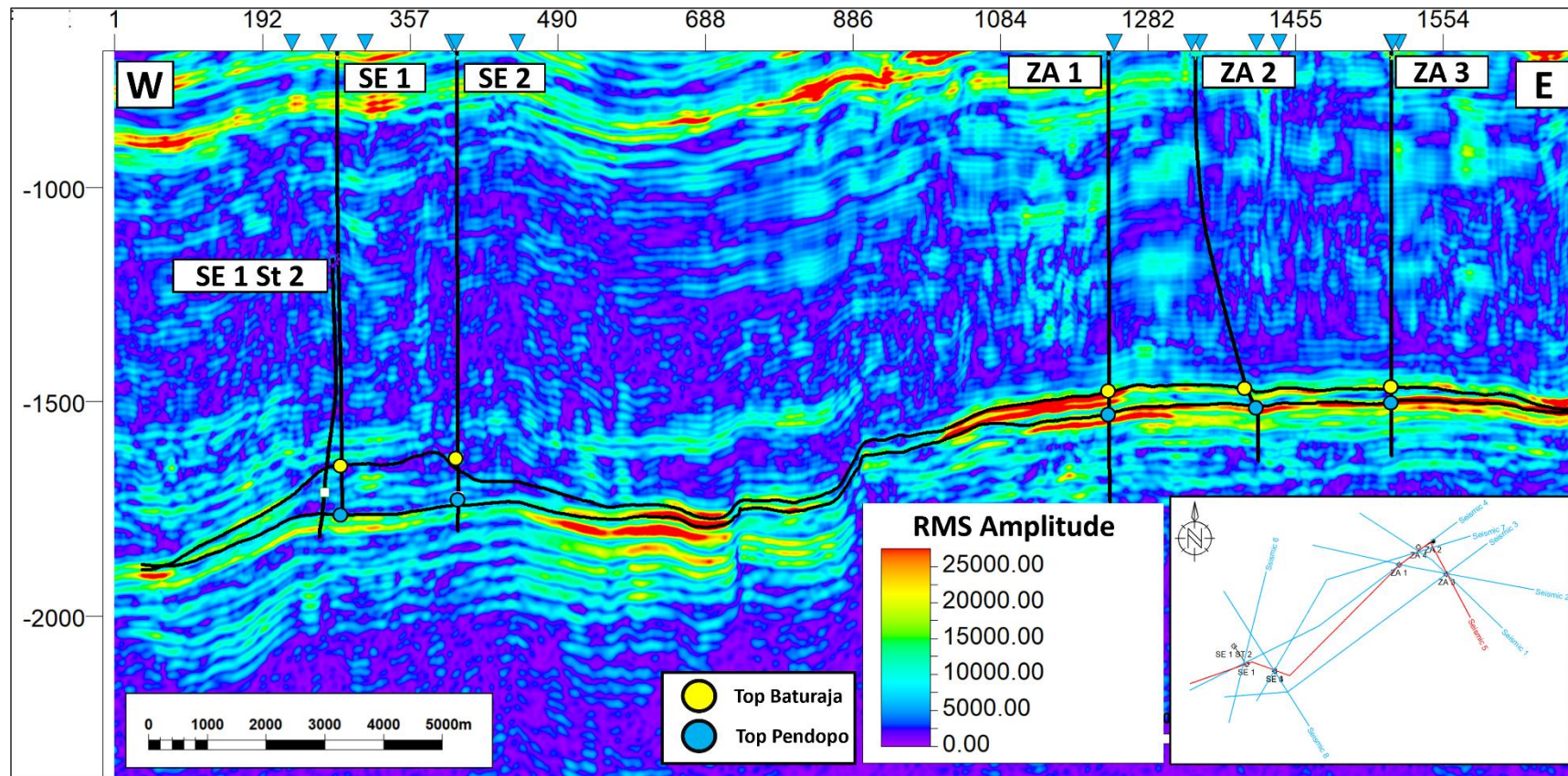
Gambar 4.15 Peta *isochore*

4.10 Analisis Atribut Seismik

Atribut seismik diekstraksi pada penampang dan *horizon surface*, sebagai gambaran bagaimana penyebaran nilai atribut seismik pada masing-masing klaster sumur. Pada penelitian ini, digunakan dua atribut seismik berbasis amplitudo, yaitu *RMS amplitude* dan *sweetness*.

4.10.1 Analisis atribut *root mean square (RMS) amplitude*

Pada penelitian ini dilakukan penerapan atribut *RMS amplitude* pada 8 penampang seismik 2D. Berdasarkan Gambar 4.16 pada penampang seismik 5, zona dengan *RMS amplitude* tinggi ditunjukkan oleh pola warna kuning hingga merah, sedangkan zona dengan *RMS amplitude* rendah ditunjukkan oleh warna hijau hingga ungu.



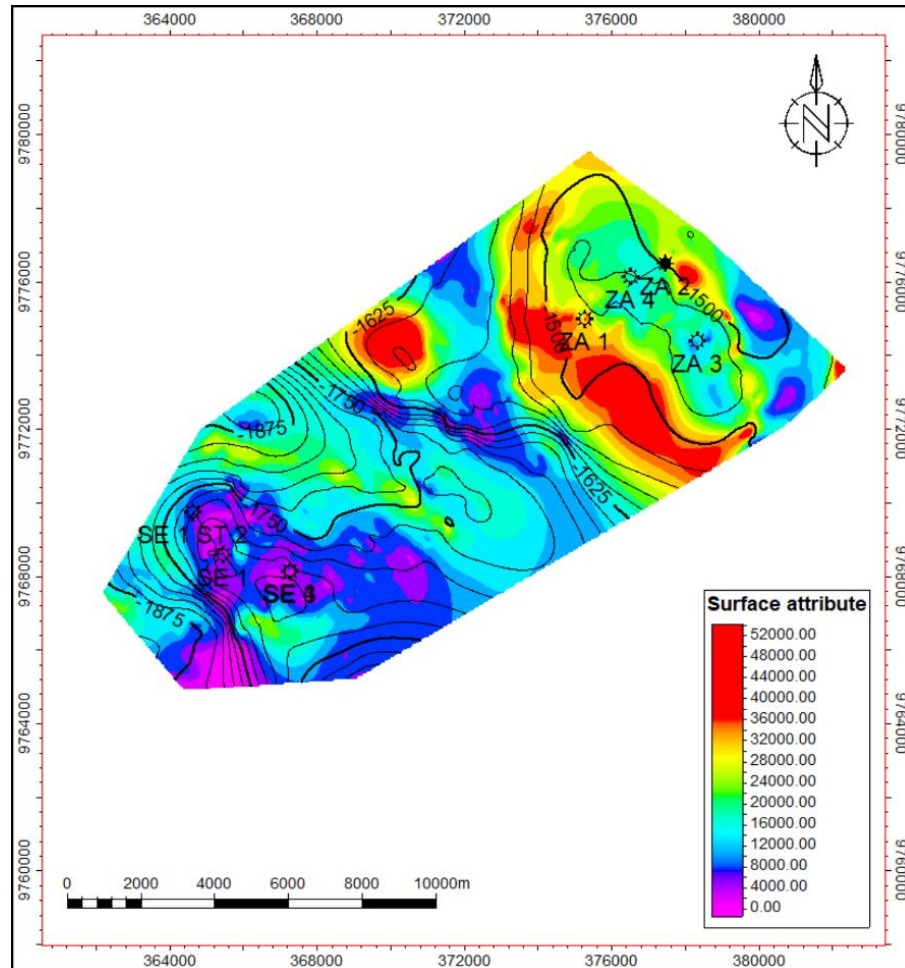
Gambar 4.16 Atribut *RMS amplitude* klaster sumur ZA penampang seismik 5

Pada klaster sumur ZA terdapat beberapa zona dengan nilai *RMS amplitude* tinggi yang ditandai dengan warna kuning hingga merah, dengan nilai 20.000 hingga > 25.000 *RMS amplitude*. Zona dengan nilai *RMS amplitude* tinggi tersebut cenderung mengikuti kemenerusan reflektor pada batas antara Formasi Baturaja dengan Formasi Gumai, yang juga berada di pinggiran *build-up*. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan nilai amplitudo akibat kontras AI antara lapisan karbonat Formasi Baturaja dengan batu serpih Formasi Gumai maupun dapat juga diindikasikan sebagai kehadiran gas. Pola persebaran *RMS Amplitude* pada klaster sumur ZA lebih kontinu dan luas dibandingkan dengan klaster sumur SE yang hanya menunjukkan anomali *RMS amplitude* tinggi secara lokal dan cenderung lebih lemah.

Identifikasi persebaran nilai *RMS amplitude* juga dilakukan secara lateral melalui peta *surface attribute* yang ditampilkan pada Gambar 4.17. Persebaran nilai *RMS amplitude* tidak dilakukan berdasarkan *time slicing* dikarenakan keterbatasan data seismik yang tersedia pada area penelitian. Sehingga Analisis atribut *RMS amplitude* difokuskan pada *horizon top* Formasi Baturaja dan *top* Formasi Pendopo, untuk melihat variasi respons amplitudo pada kedua interval tersebut.

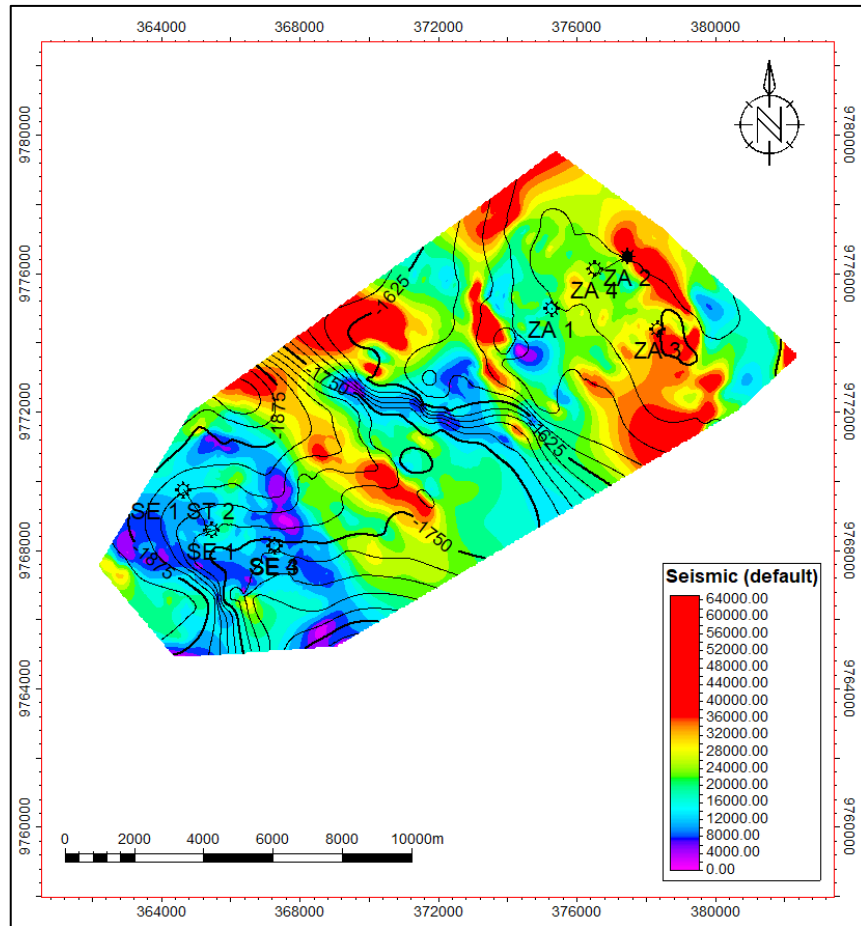
Berdasarkan gambar 4.17, klaster sumur ZA memiliki persebaran nilai *RMS amplitude* yang lebih tinggi dibandingkan dengan klaster sumur SE. Nilai *RMS amplitude* pada klaster sumur ZA berada pada kisaran 5.000 hingga 37.000, sedangkan pada klaster sumur SE nilai *RMS amplitude* relatif lebih rendah dengan kisaran sekitar 800 hingga 15.000. Apabila dikaitkan dengan data *log*, nilai *RMS amplitude* yang lebih kecil pada klaster sumur SE berkaitan dengan adanya kehadiran gas pada bagian *top* formasi. Pada klaster ini, gas terakumulasi secara masif pada *top* struktur karbonat. Akibatnya terjadi penurunan nilai kekuatan amplitudo akibat penurunan nilai AI batuan karbonat yang mendekati nilai AI batuan di atasnya, yaitu *shale* Formasi Gumai. Sementara itu pada karbonat klaster sumur ZA, kehadiran gas tidak merata di seluruh *top* karbonat yang melampar dan luas. Sebagian besar zona pada *top* karbonat ZA hanya memiliki sedikit kehadiran gas yang tidak memberikan perubahan banyak terhadap nilai AI batuan. Akibatnya sebagian zona tidak mengalami penurunan nilai AI yang terlalu besar ketimbang

yang terjadi pada karbonat SE. Hal ini berkaitan dengan persebaran secara lateral kekuatan nilai amplitudo setelah dilakukan penerapan atribut seismik *RMS amplitude*. Dengan terdapat kontras AI dari sedang hingga tinggi, membuat nilai *RMS amplitude* pada struktur karbonat ini juga lebih besar.



Gambar 4.17 Peta persebaran atribut *RMS amplitude* Formasi Baturaja

Peta persebaran atribut *RMS amplitude top* Formasi Pendopo ditunjukkan pada Gambar 4.18. Berdasarkan gambar tersebut, zona *RMS amplitude* kuat berada pada klaster sumur ZA, terutama pada bagian timur dan selatan klaster. Pada bagian tengah klaster nilai *RMS amplitude* cenderung sedang. Sementara itu pada klaster karbonat SE nilai *RMS amplitude* cenderung rendah, walaupun tidak serendah pada *top* formasi. Terjadi peningkatan nilai *RMS amplitude* dikarenakan formasi yang lebih kompak, pori-pori batuan yang lebih sedikit, dan ketiadaan gas pada bagian bawah formasi.

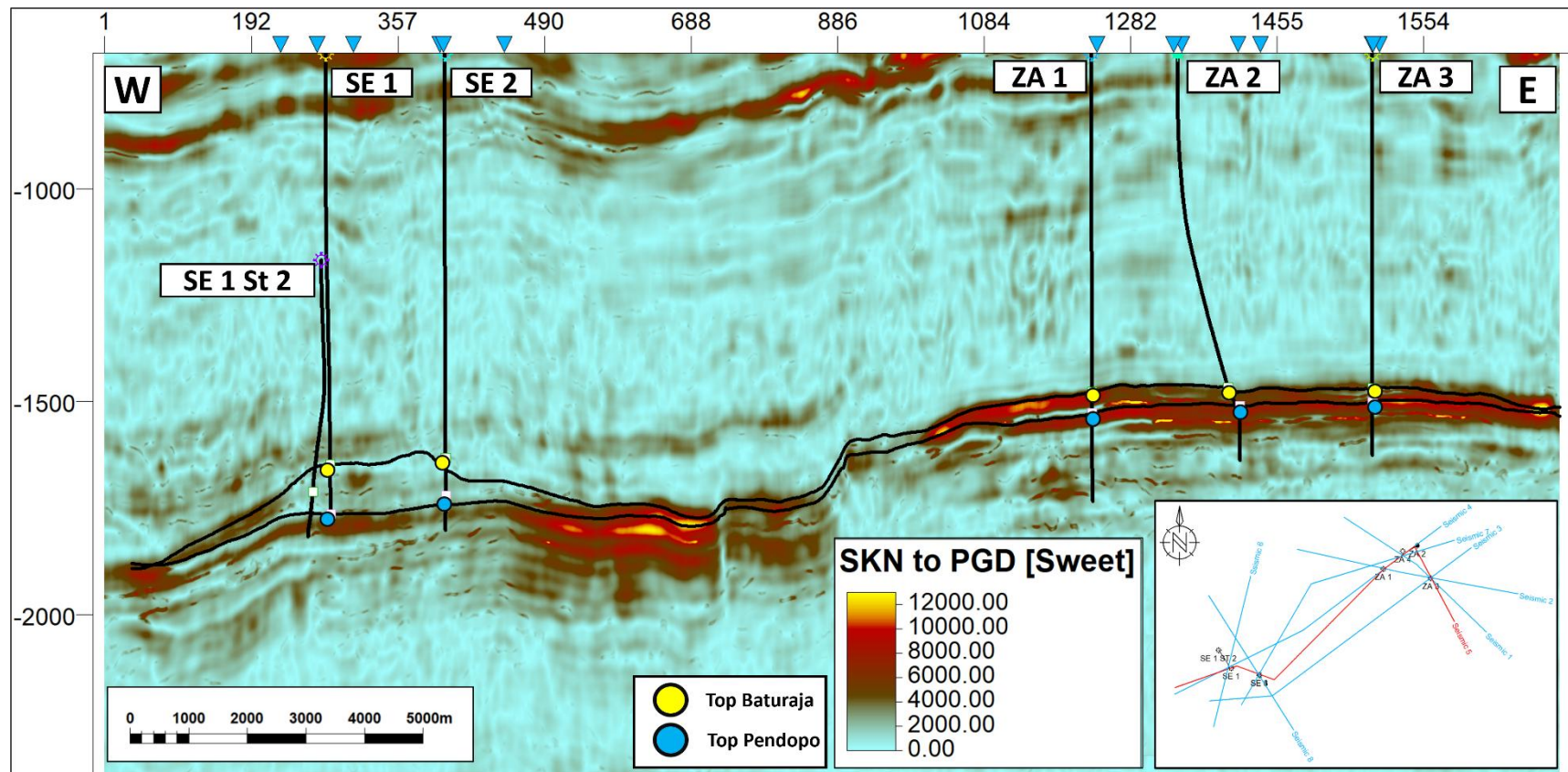


Gambar 4.18 Peta persebaran atribut *RMS Amplitude* Formasi Pendopo

4.10.2 Analisis atribut *sweetness*

Nilai atribut *sweetness* didapatkan berdasarkan perbandingan antara nilai amplitudo sesaat dengan frekuensi. Sehingga zona dengan *sweetness* tinggi berkorelasi dengan zona beramplitudo tinggi dan frekuensi rendah, yang sering berkaitan dengan keberadaan hidrokarbon. Pada Gambar 4.19 dapat dilihat bagaimana persebaran *sweetspot* dalam struktur karbonat pada penampang seismik 5 yang mencakup semua sumur.

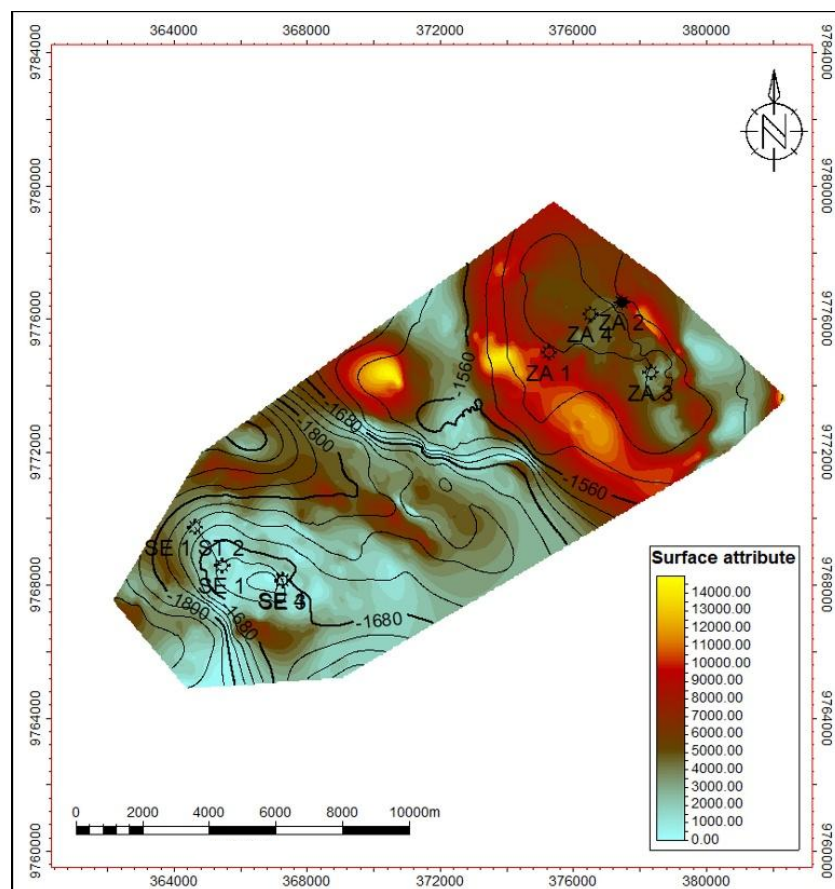
Struktur karbonat klaster SE menunjukkan nilai *sweetspot* yang cenderung rendah hampir di seluruh tubuh karbonat, yaitu hanya berkisar kurang dari 4.000 satuan *sweetness*. Hal ini dikarenakan meskipun frekuensinya rendah, namun tidak adanya perbedaan AI secara signifikan berakibat pada reflektor yang dihasilkan cenderung *dim* dan tidak sekuat di klaster ZA. Sementara klaster ZA menunjukkan nilai *sweetness* yang tinggi di seluruh tubuh karbonat.



Gambar 4.19 *Sweetness* atribut pada penampang seismik 5

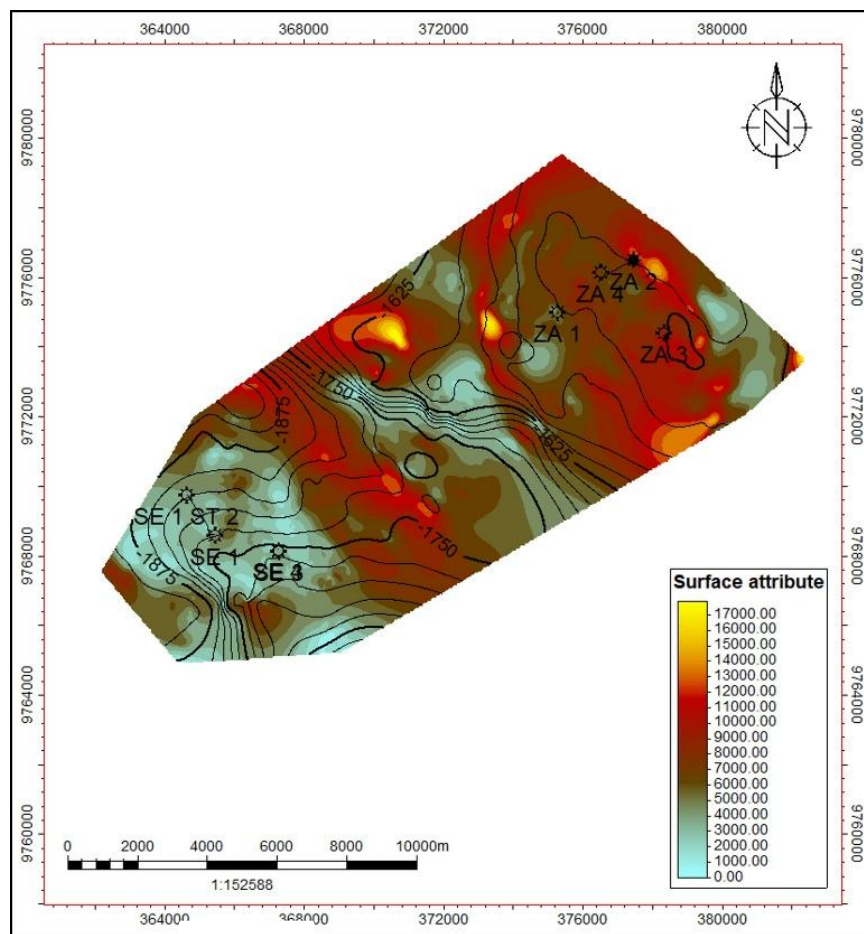
Pada struktur karbonat klaster sumur ZA, nilai atribut *sweetness* cenderung tinggi hampir di seluruh struktur dengan ditandai oleh warna merah tua hingga kuning. Pada struktur ini nilai *sweetness* berkisar antara 6.000 hingga lebih dari 12.000.

Peta persebaran nilai *sweetness* juga dapat dilihat melalui peta *surface*. Peta persebaran atribut *sweetness* pada *top surface* Baturaja ditunjukkan oleh Gambar 4.20. Pada gambar tersebut terlihat bahwa nilai *sweetness* yang tinggi cenderung berada pada struktur karbonat klaster sumur ZA yang ditandai dengan warna merah hingga kuning yang dominan. Nilai *sweetness* pada struktur ini berkisar antara 6.000 hingga 15.000. Sebaliknya, pada klaster sumur SE persebaran atribut *sweetness* didominasi oleh warna biru hingga hijau, dengan nilai yang relatif lebih rendah yaitu sekitar 300 hingga 5.000. Persebaran nilai yang lebih rendah ini menunjukkan respons amplitudo tinggi yang berasosiasi dengan frekuensi rendah tidak dominan seperti pada klaster sumur SE.



Gambar 4.20 Peta *sweetness* Formasi Baturaja

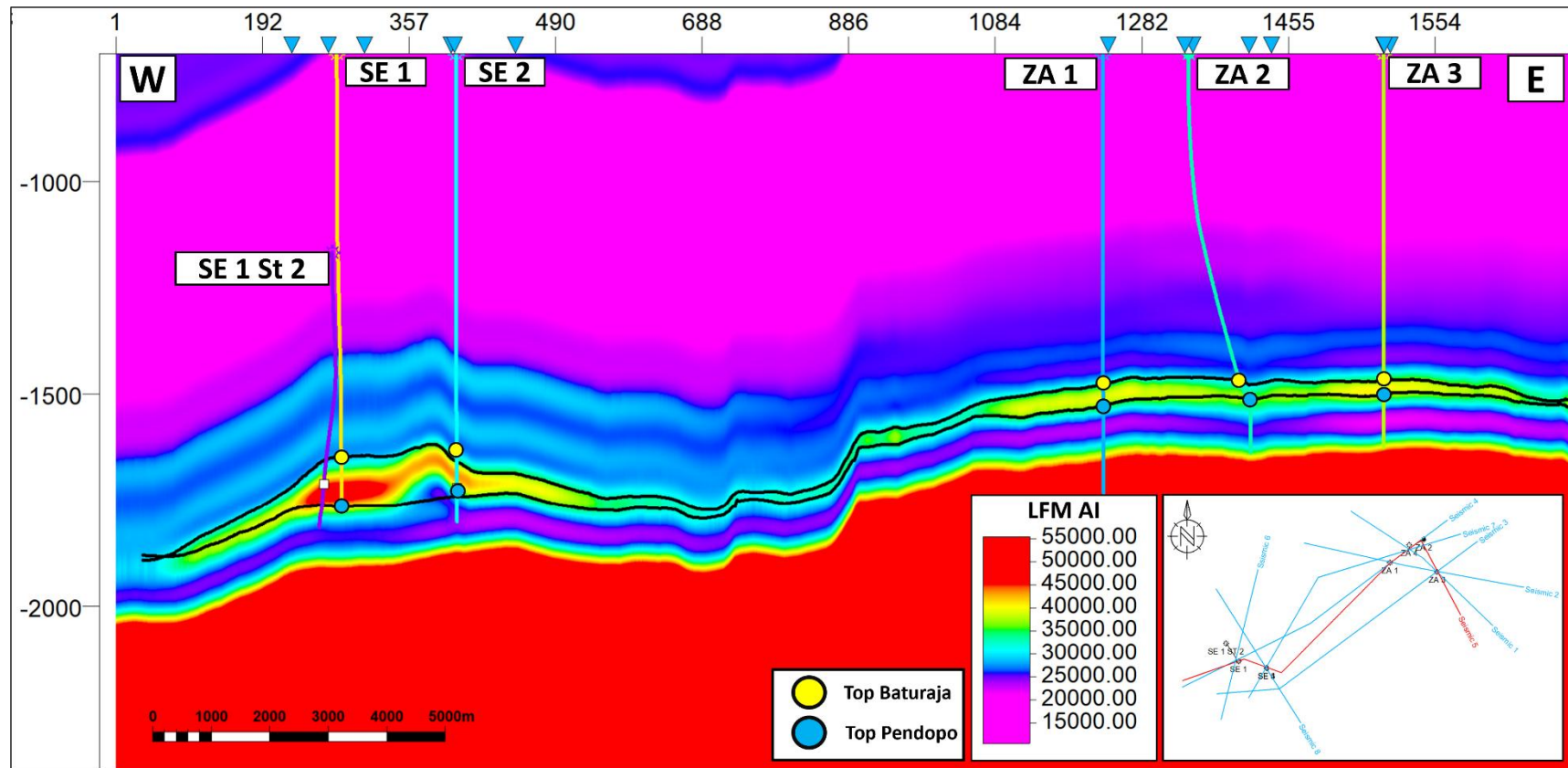
Pada peta atribut *sweetness top* Formasi Pendopo yang ditunjukkan oleh Gambar 4.21. Pada *horizon* yang menjadi *base* Formasi Baturaja ini juga didapati bahwa persebaran atribut *sweetness* dengan nilai tinggi dijumpai pada klaster sumur ZA dengan ditandai dominasi warna merah hingga kuning dengan nilai atribut 5.000 hingga 16.000. Pada klaster sumur SE, nilai atribut *sweetness* cenderung rendah berkisar antara 1.000 hingga 7.000 yang ditandai oleh warna biru muda hingga merah.



Gambar 4.21 Peta atribut *sweetness* Formasi Pendopo

4.11 Analisis LFM

Pembangunan LFM menjadi tahap awal yang perlu dilakukan dalam proses inversi. Berdasarkan Gambar 4.22, LFM AI berhasil dibangun menggunakan mengikuti *horizon* hasil interpretasi seismik. Model ini merepresentasikan tren AI frekuensi rendah yang tidak terekam pada data seismik, sehingga digunakan sebagai model awal dalam proses inversi AI.



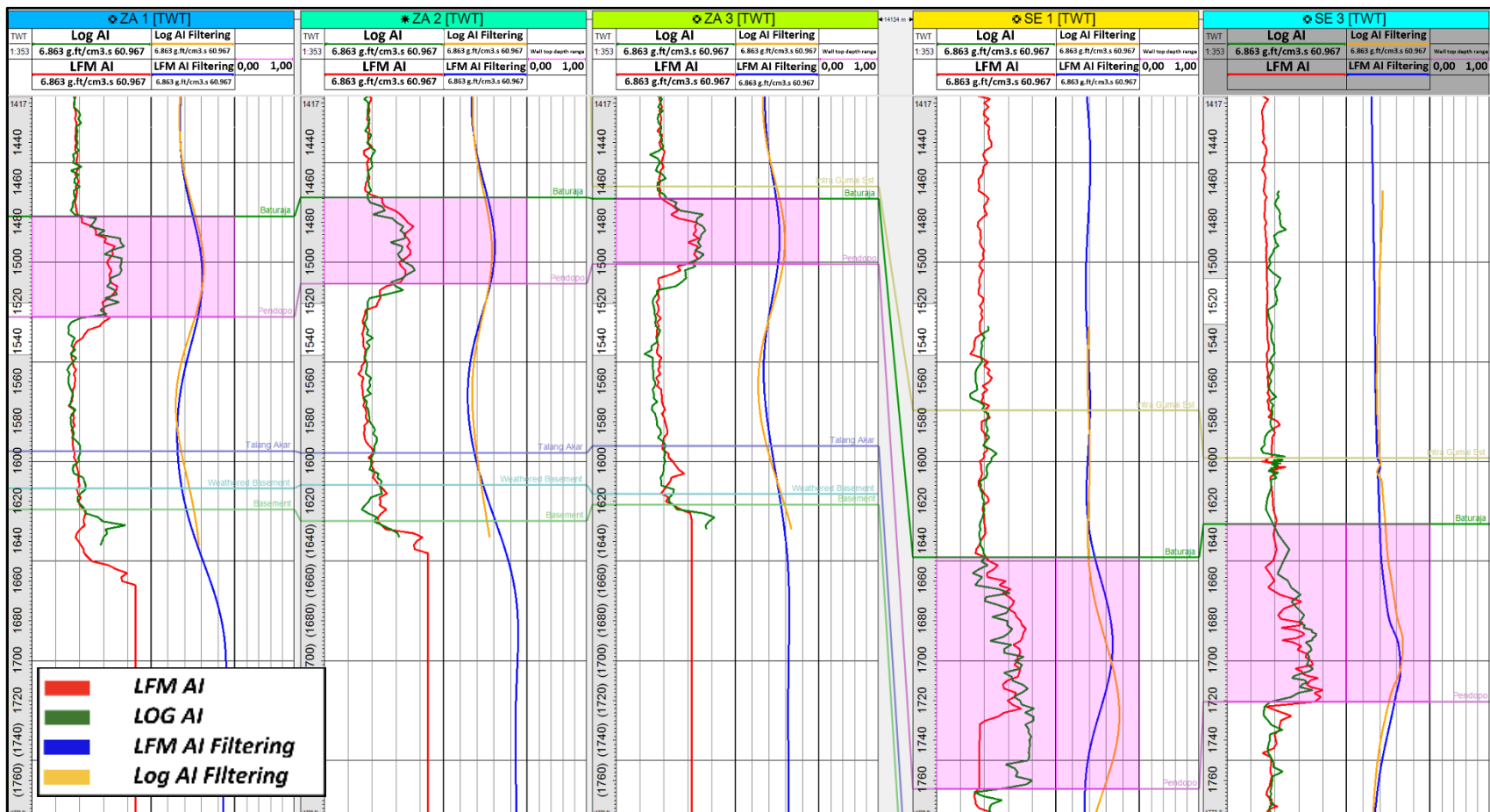
Gambar 4.22 LFM AI pada penampang seismik 5

Berdasarkan Gambar 4.22, secara umum terlihat bahwa nilai AI meningkat seiring bertambahnya kedalaman, yang ditunjukkan oleh perubahan warna dari ungu hingga merah yang merepresentasikan nilai AI rendah menuju tinggi.

Pada klaster sumur SE, persebaran warna pada interval target didominasi oleh warna biru hingga hijau, yang menunjukkan nilai AI berkisar sekitar 27.500 hingga 35.000 g.ft/(cm³.s). Lapisan dengan warna tersebut terlihat cukup tebal dan mengikuti geometri *horizon* Formasi Baturaja. Di bagian bawah interval ini terlihat perubahan warna menjadi kuning hingga merah dengan nilai AI yang lebih tinggi, yaitu sekitar 40.000 g.ft/(cm³.s) hingga lebih dari 42.500 g.ft/(cm³.s), yang menunjukkan batuan dengan sifat elastik yang lebih kompak pada lapisan yang lebih dalam.

Sementara itu pada klaster sumur ZA, persebaran warna pada interval yang sama cenderung didominasi oleh warna hijau hingga kuning, yang merepresentasikan nilai AI sekitar 32.500-40.000 g.ft/(cm³.s). Nilai AI pada klaster sumur ini terlihat relatif lebih tinggi dibandingkan klaster sumur SE. Pada bagian bawah penampang, warna berubah menjadi merah dengan nilai AI di atas 42.500 g.ft/(cm³.s), yang menunjukkan lapisan batuan yang lebih kompak. Perbedaan persebaran nilai AI pada kedua klaster sumur ini menunjukkan adanya variasi sifat elastik batuan pada area penelitian yang akan menjadi acuan dalam proses inversi AI selanjutnya.

Untuk menilai kemampuan model dalam mempresentasikan tren AI pada model, dilakukan *blind well test* yang ditampilkan pada Gambar 4.23. Proses ini dilakukan dengan cara mengeluarkan satu sumur dari proses pembentukan model, kemudian model yang dihasilkan dibandingkan kembali dengan data *log* AI pada sumur tersebut. Dari hal tersebut dapat dilihat apakah model mampu membentuk nilai maupun tren yang cukup representatif terhadap data sumur yang ada.



Gambar 4.23 QC blind well test terhadap LFM

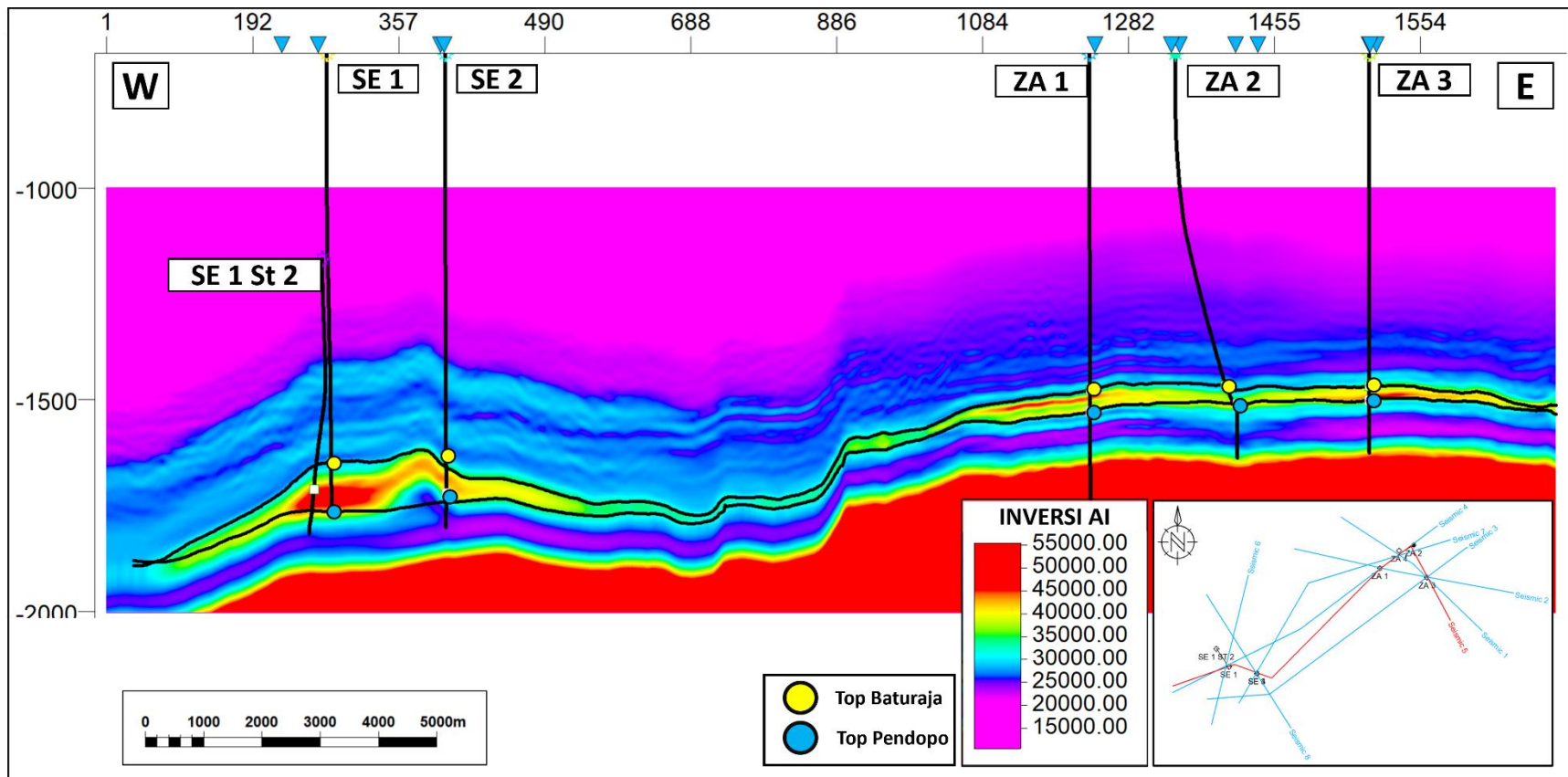
Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada sumur ZA-1, ZA-2, ZA-3, dan SE-3, kurva hasil model inversi memperlihatkan kecenderungan yang cukup selaras dengan kurva *log* AI sumur. Keselarasan ini terlihat dari pola perubahan nilai AI yang mengikuti tren *log* sumur pada interval target Formasi Baturaja, meskipun masih terdapat perbedaan kecil pada beberapa kedalaman yang disebabkan oleh keterbatasan resolusi model frekuensi rendah. Kesesuaian tren ini menunjukkan bahwa model yang dibangun mampu merepresentasikan distribusi AI secara regional dengan baik.

Sebaliknya, pada sumur SE-1 terlihat bahwa hasil model tidak sepenuhnya mengikuti tren *log* AI sumur. Hal ini terjadi karena sumur tersebut tidak dilibatkan dalam proses pembentukan model sehingga nilai AI yang dihasilkan hanya merupakan hasil interpolasi dari sumur-sumur di sekitarnya. Meskipun demikian, pola perubahan nilai AI masih menunjukkan kecenderungan yang mendekati tren data sumur.

4.12 Analisis Inversi *Model Based*

Gambar 4.24 menampilkan hasil inversi AI yang diperoleh dari proses inversi seismik menggunakan model frekuensi rendah sebagai model awal. Hasil inversi ini memperlihatkan distribusi nilai AI yang lebih mengikuti detail refleksi seismik dibandingkan dengan model frekuensi rendah, sehingga variasi AI batuan dapat terlihat dengan resolusi yang lebih baik. Perubahan nilai AI tampak mengikuti geometri *horizon* dan struktur yang telah diinterpretasi sebelumnya, sehingga batas antar lapisan batuan terlihat lebih jelas.

Sesuai Gambar 4.24, pada klaster sumur SE, interval Formasi Baturaja didominasi oleh persebaran warna kuning hingga merah, yang menunjukkan nilai AI berkisar sekitar 42.000 hingga 48.000 g.ft/(cm³.s). Zona dengan warna merah dengan nilai AI tinggi berpusat pada inti dan bagian bawah karbonat dan semakin menurun nilainya ke pinggiran maupun bagian atas struktur karbonat yang ditandai oleh warna hijau. Hal ini berkaitan dengan kompaksi batuan yang berpusat pada tengah hingga bagian bawah karbonat yang kemudian mengalami penurunan akibat peningkatan volume pori batuan dan kehadiran hidrokarbon terutama gas pada bagian atas struktur karbonat.



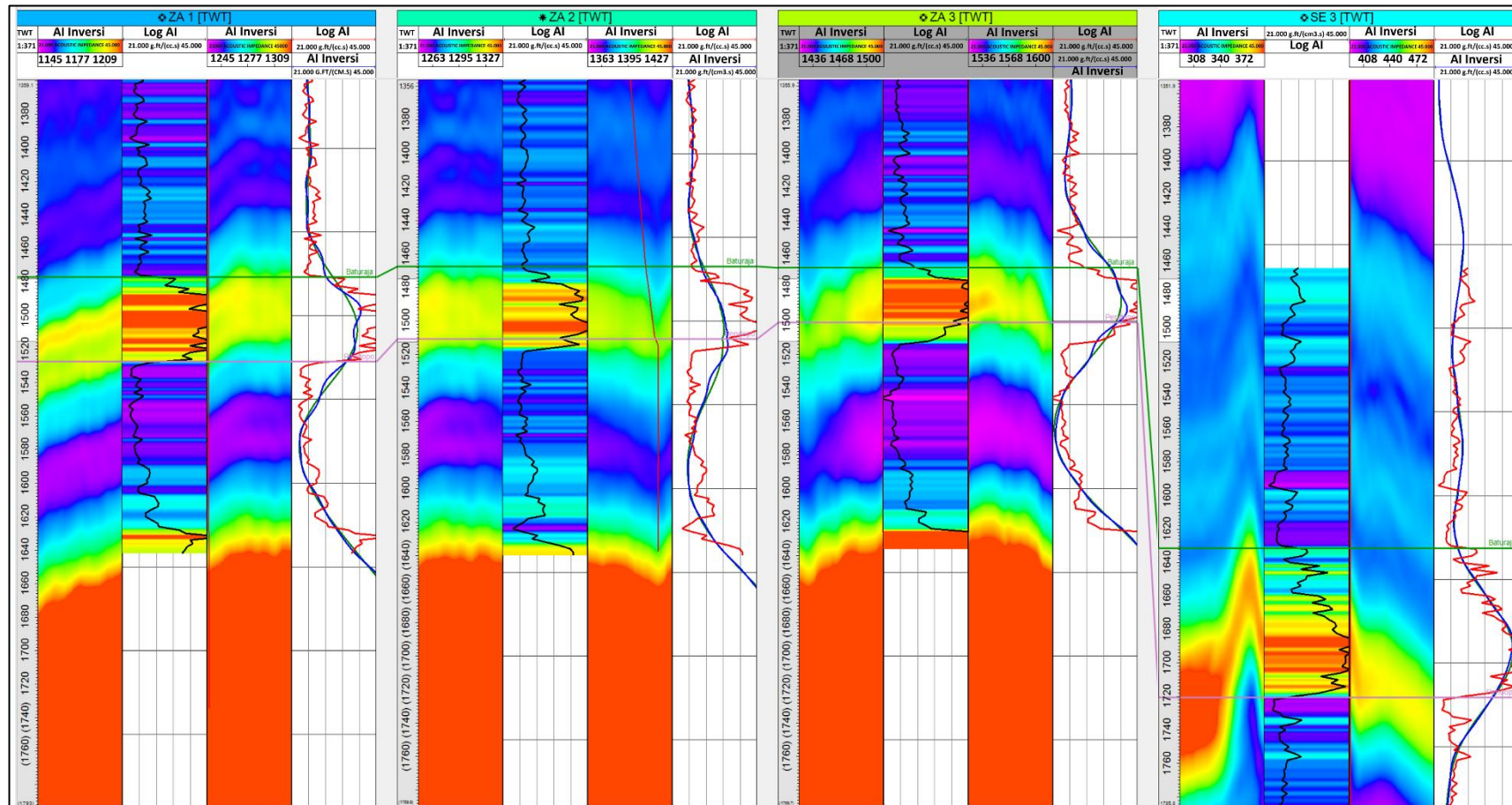
Gambar 4.24 Inversi model based pada penampang seismik 5

Pada klaster sumur ZA, interval formasi menunjukkan persebaran warna hijau hingga kuning, dengan nilai AI berkisar sekitar 38.000-45.000 g.ft/(cm³.s). Distribusi warna tersebut terlihat lebih mengikuti pola reflektor seismik dan relatif lebih seragam di sepanjang *horizon* Formasi Baturaja. Nilai AI pada klaster sumur ini berada dalam rentang yang memenuhi batas *cut-off* AI pada sebagian besar zona pada tubuh karbonat.

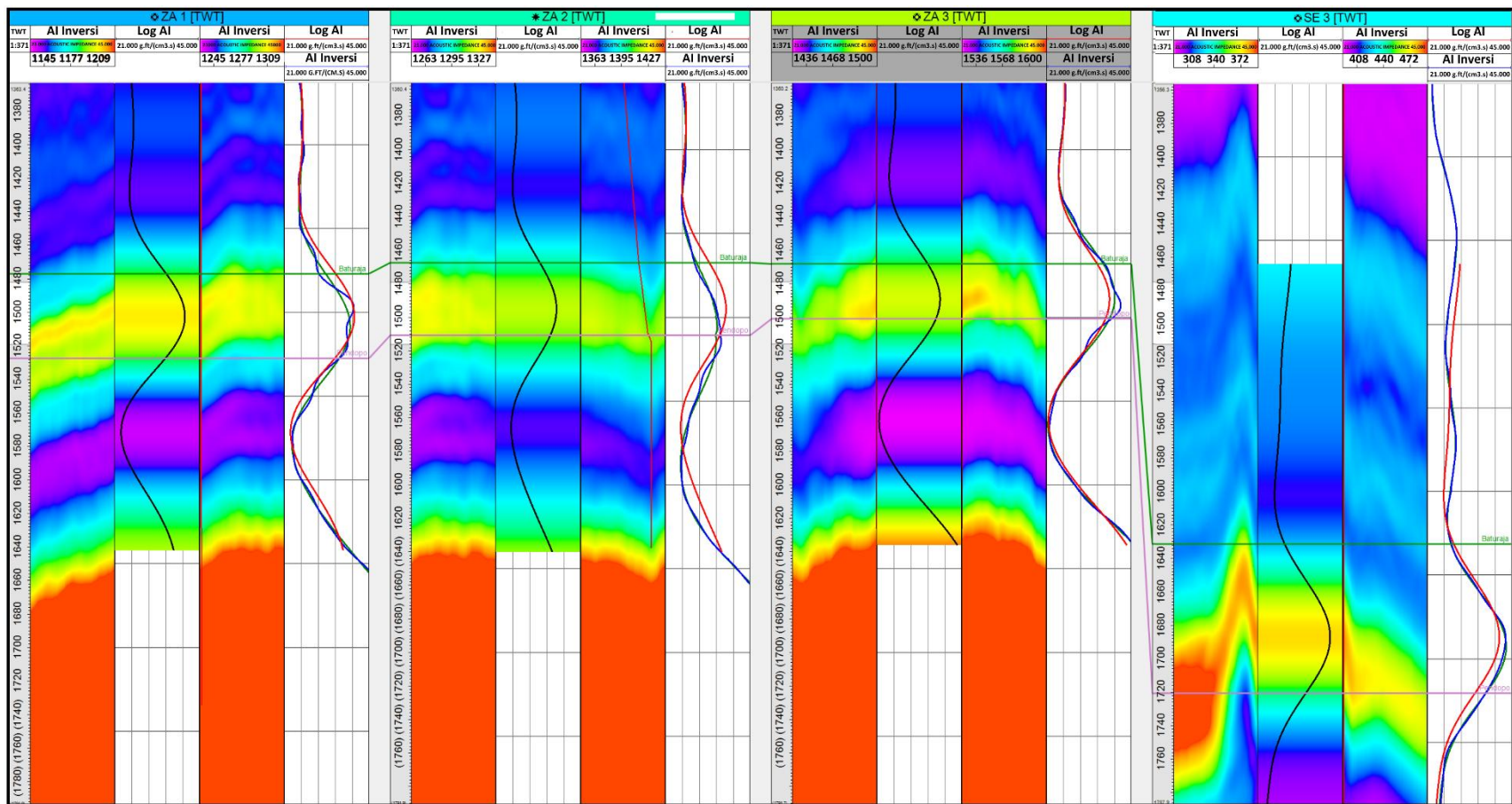
Jika dibandingkan dengan LFM, maka hasil inversi memperlihatkan detail seismik dari penampang yang lebih jelas. Pada LFM, perubahan AI terlihat lebih halus dan hanya menggambarkan tren regional AI dengan variasi yang terbatas. Setelah dilakukan inversi, variasi AI mengikuti pola refleksi seismik sehingga batas lapisan, perubahan ketebalan, serta geometri struktur karbonat *build-up* dapat teridentifikasi dengan lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa proses inversi berhasil mengintegrasikan informasi frekuensi rendah dari model awal dengan informasi frekuensi tinggi dari data seismik, sehingga menghasilkan distribusi AI yang lebih representatif terhadap kondisi geologi bawah permukaan.

Sebagai langkah terakhir inversi, dilakukan *quality control* (QC) terhadap hasil inversi AI dengan membandingkan kurva *log* AI sumur dengan AI hasil inversi pada setiap lokasi sumur. Berdasarkan Gambar 4.25 dan Gambar 4.26, ditampilkan hasil perbandingan antara *log* AI sumur dengan hasil inversi sebelum dan sesudah diterapkan *high cut filter* 10 Hz. Sebelum dilakukan *filtering* terlihat bahwa tren AI hasil inversi telah mengikuti tren *log* AI sumur, terutama pada interval Formasi Baturaja yang merupakan formasi target. Variasi perubahan nilai AI yang terlihat pada *log* sumur juga masih dapat direpresentasikan oleh hasil inversi, meskipun terdapat beberapa perbedaan kecil pada detail kurva yang disebabkan oleh keterbatasan resolusi data seismik dibandingkan data sumur. Namun demikian, tidak terlihat adanya deviasi yang ekstrem antara kurva *log* AI dan kurva hasil inversi.

Selanjutnya pada Gambar 4.26, ditampilkan hasil *QC* setelah dilakukan penerapan *high cut filter* 10 Hz pada model frekuensi rendah. Setelah proses penyaringan frekuensi ini, kurva AI hasil inversi terlihat menjadi lebih halus dan stabil, serta tetap mempertahankan kesesuaian tren terhadap *log* AI sumur.



Gambar 4.25 Hasil inversi AI sebelum dikenai *high cut filter* 10 Hz



Gambar 4.26 Hasil inversi AI setelah dikenai *high cut filter* 10 Hz