

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sulawesi bagian timur memiliki potensi hidrokarbon terutama gas yang telah terbukti produksinya. Berdasarkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral diketahui bahwa terdapat cadangan gas sebesar 333,6 BCFG/*Billion Cubic Feet of Gas* (miliar kaki kubik gas) yang ditemukan Pertamina EP dari hasil penyelesaian pengerjaan eksplorasi di Banggai, Sulawesi Tengah. Akan tetapi, Cekungan Banggai masih kurang dieksplorasi secara masif (Kementerian ESDM, 2020; Tuttle, dkk, 1999).

Permintaan energi minyak dan gas bumi terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah strategis dan peningkatan produksi guna memenuhi kebutuhan energi masyarakat Indonesia. Saat ini, sekitar 60% reservoir yang produktif untuk minyak dan gas bumi didominasi oleh batuan karbonat. Batuan karbonat merupakan jenis batuan sedimen yang memiliki tingkat heterogenitas yang tinggi. Karena itu, diperlukan penanganan khusus untuk memahami karakteristik reservoir karbonat tersebut di Cekungan Banggai (Muhammad, 2020).

Melalui hal tersebut, dibutuhkan evaluasi yang mendalam dan lengkap untuk mengetahui sejarah dari Cekungan Banggai yang kemudian dapat memberikan gambaran yang jelas bagi evolusi Cekungan Banggai. Evaluasi evolusi tektonik dan potensi hidrokarbon merupakan salah satu cara untuk menginterpretasi regional area Blok Matindok yang berada di tenggara Lengan Timur Sulawesi (Pertamina dan LAPI, 2018).

Beberapa penelitian mengenai penerapan metode *post-stack* inversi dalam eksplorasi hidrokarbon diantaranya oleh Tiekuro dkk (2024) yang meneliti tentang penerapan *post-stack* inversi akustik impedansi menggunakan *model based* inversi. Inversi yang digunakan berupa *forward modelling* koefisien refleksi yang berasal dari data sumur. Tujuan utama penelitian ini untuk menentukan perubahan lateral dan vertikal batuan di bawah permukaan. Hal ini akan membantu memperlihatkan penyebaran hidrokarbon dengan lebih baik. Penelitian ini mengintegrasikan data sumur berupa log *gamma ray*, densitas dan sonik dari sumur ETI-006 dengan data seismik 3D. Informasi frekuensi rendah yang hilang dari data seismik dimasukkan menggunakan data log sumur. Analisis dari penelitian ini menunjukkan nilai akustik impedansi berkisar antara 7.000 hingga 50.000 (ft/s)*(g/cc).

Selain itu, penelitian Kusuma dkk (2024) tentang karakterisasi reservoir menggunakan *post-stack* seismik inversi. Karakteristik batuan seperti porositas, litologi, dan jenis fluida dapat diketahui dari nilai impedansi. Akumulasi hidrokarbon dapat diketahui dari zona porositas dengan nilai akustik impedansi yang rendah menunjukkan porositas yang tinggi. Penelitian ini menggunakan data seismik *post-stack* 3D yang diintegrasikan dengan data sumur X-2 dan sumur X-3 untuk melakukan inversi akustik impedansi. Reservoir yang berkualitas tinggi ditandai dengan nilai impedansi rendah *(g/cc)). Pada penelitian ini menunjukkan penggunaan *hard* *model based* mengakibatkan keterbatasan yang sangat *real model* yang berasal dari data sumur yang terbatas. Resolusi seismik juga dapat mengaburkan atau menghilangkan lapisan yang poran Akhir Sumur W-1 Pertamina EP, terdapat informasi sebaran nilai di Struktur Wolai pada kedalaman 1660 m dan 1701 m. Sumur D-2 tidak tersedia informasi sebaran nilai akustik impedansi.



Oleh sebab itu, dilakukan penelitian “*Post-stack* inversi pada sumur W-1 dan D-2 dengan metode *model based*, *bandlimited*, dan *maximum likelihood sparse spike* di Cekungan Banggai, Sulawesi Tengah”.

1.2. Tujuan dan Manfaat

1.2.1. Tujuan

Adapun tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil *post-stack* inversi dengan metode *model based*, *bandlimited*, dan *maximum likelihood sparse spike*.
2. Membuat perbandingan nilai hasil *post-stack* inversi dengan metode *model based*, *bandlimited*, dan *maximum likelihood sparse spike*.
3. Membuat peta sebaran nilai akustik impedansi.

1.2.2. Manfaat

Penelitian *post-stack* inversi pada sumur W-1 dan D-2 dengan metode *model based*, *bandlimited*, dan *maximum likelihood sparse spike* memiliki manfaat dalam konteks pemahaman terhadap beberapa metode *post-stack* inversi yang berbeda untuk mengetahui potensi reservoir hidrokarbon pada zona target penelitian. Dari informasi hasil inversi dapat diketahui persebaran nilai akustik impedansi secara horizontal dari suatu formasi.

1.3. Teori Dasar

1.3.1. Geologi Regional

Pada gambar 1 menunjukkan beberapa formasi dalam peta geologi Lembar Batui yang berada pada Cekungan Banggai, Sulawesi Tengah antara lain sebagai berikut (Surono dkk, 1993):

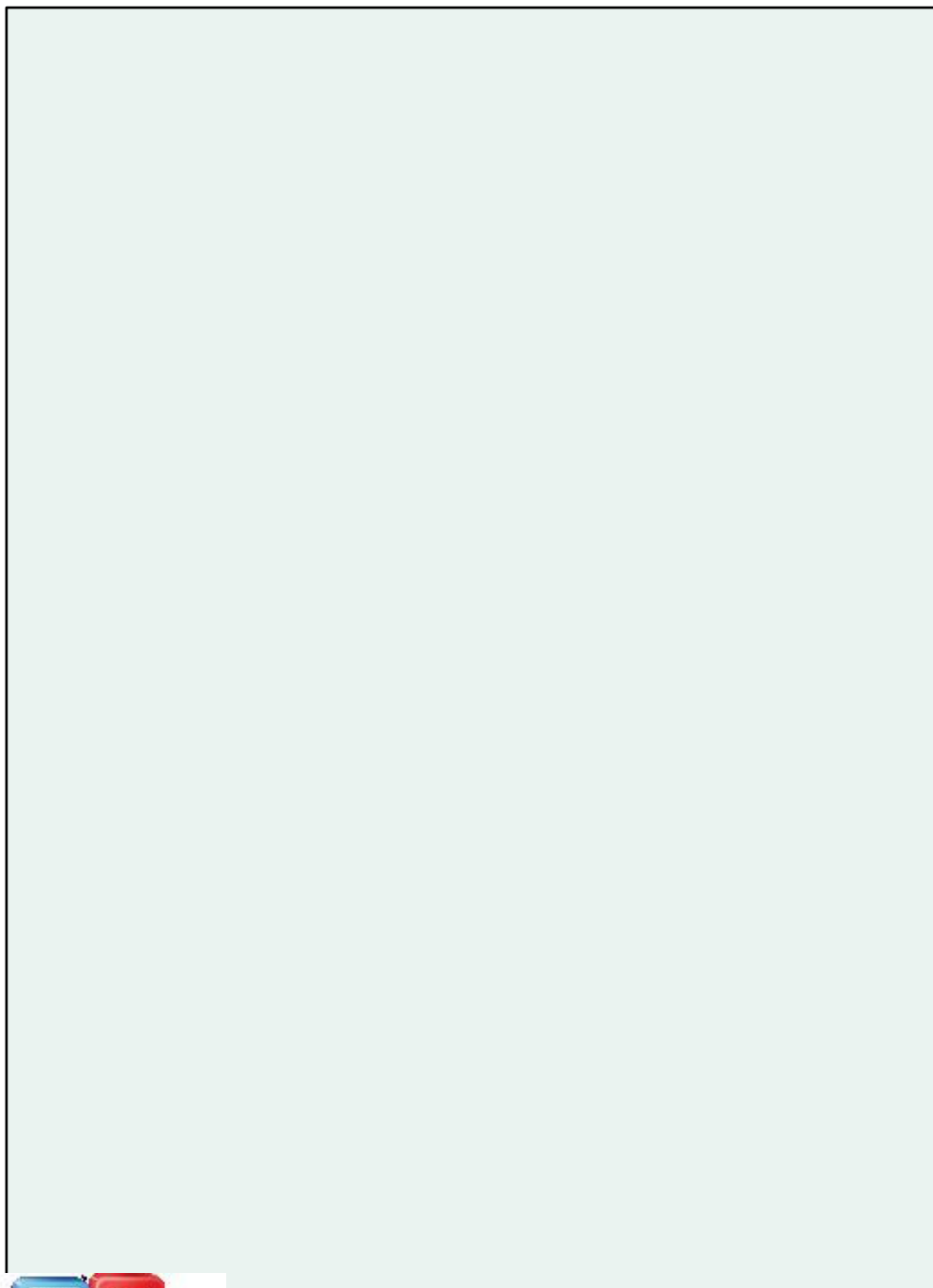
- a. Aluvium (Qa) berupa lumpur, pasir, dan kerakal.
- b. Terumbu koral kuartar (Ql) berupa batugamping koral bersisipan napal.
- c. Formasi Kintom (TmPk) berupa napal pasiran dan batupasir.
- d. Formasi Bongka (TmPb) berupa konglomerat, batupasir, lanau, napal, dan batugamping.
- e. Bancuh Kolokolo (TmK) berupa komponen asing dalam matrik lempung bersisik dan batulumpur napalan.
- f. Formasi POH (Tomp) berupa napal bersisipan batugamping.
- g. Formasi Salodik (Tems) berupa batugamping bersisipan napal.
- h. Formasi Matano (Km) berupa rijang dan kalsilutit.
- i. Kompleks Ultramafik (Ku) berupa serpentinit, harsburgit, dan dunit.
- j. Kompleks Mafik (Ku) berupa gabro, basal, dan diorit.
- k. Formasi Nanaka (Jn) berupa konglomerat, batupasir, dan serpih.
- l. Formasi Nambo (Jnm) berupa napal pasiran, dan napal dengan belemnit.
- m. Formasi Tolaka (RJt) berupa batugamping dan napal bersisipan serpih.



ihu (RJt) berupa serpih dan batupasir.

-Trias (PRg) berupa granit, granit turmalin, dan granit mika.

(Pzm) berupa sekis mika dan genes.



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Batui, Sulawesi Tengah (Suroono dkk, 1993)



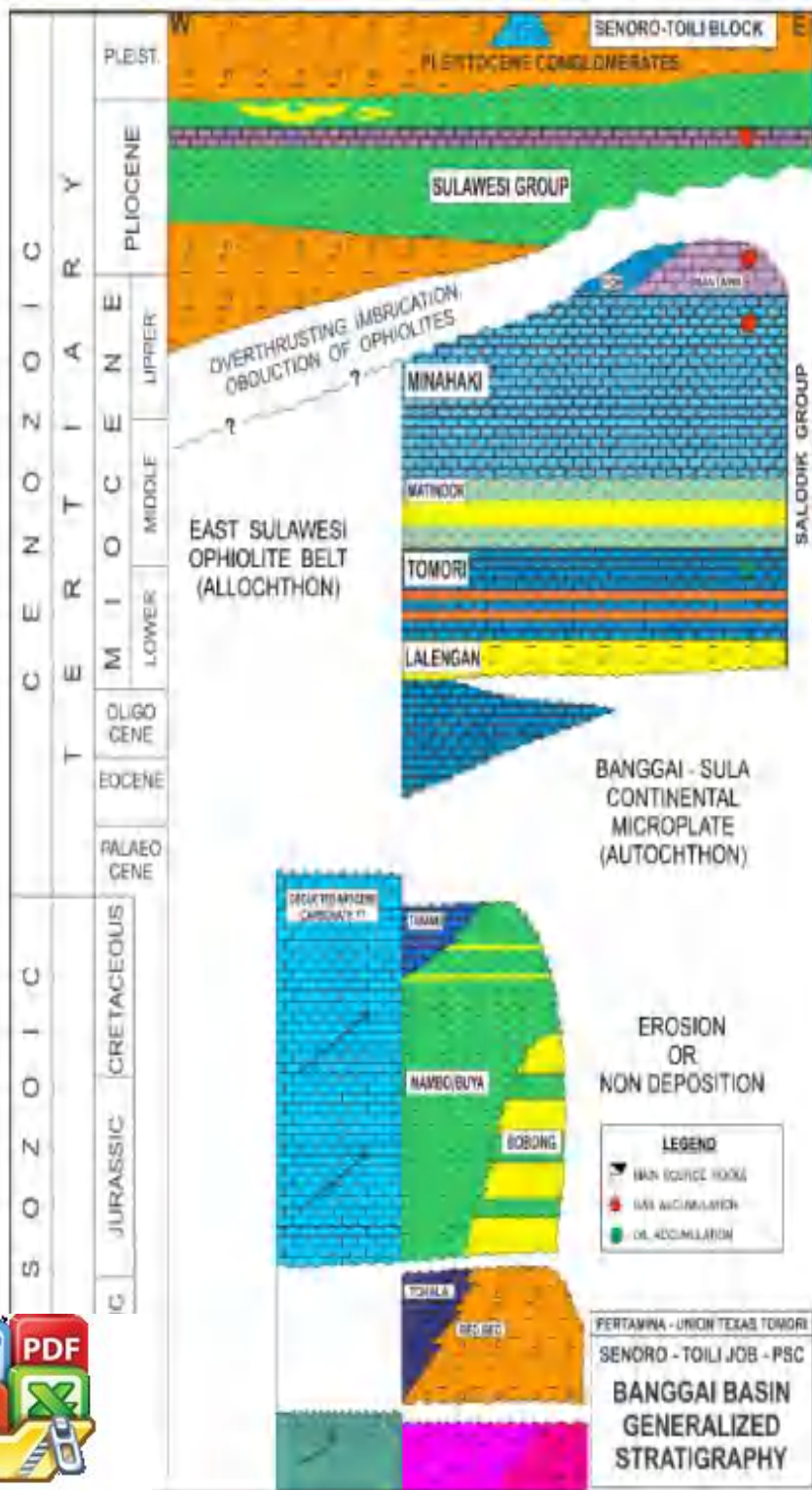
Pulau Sulawesi yang memiliki luas sebesar 174.600 km² yang terletak di bagian tengah Indonesia dengan bentuk menyerupai huruf K. Pada sebelah barat, Sulawesi berbatasan dengan Kalimantan. Di sebelah utara berbatasan dengan Filipina, lalu di sebelah timur berbatasan dengan Maluku. Sulawesi berbatasan dengan Timor di sebelah tenggara dan pada sebelah selatan berbatasan dengan Flores (Sompotan, 2012).

Sulawesi merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar, yaitu lempeng Australia yang bergerak ke utara, lempeng Pasifik yang bergerak barat dan lempeng Eurasia yang bergerak selatan-tenggara, serta lempeng yang lebih kecil, yaitu lempeng Filipina. Keempat lempeng tersebut saling bertumbukan yang menyebabkan terdapat beberapa sesar di Sulawesi, yaitu sesar Palu-Koro, sesar Poso, sesar Matano, sesar Lawanopo, sesar Walanae, sesar Gorontalo, sesar Batui, sesar Tolo, dan sesar Makassar (Sompotan, 2012).

Cekungan Banggai yang terletak di Sulawesi Tengah terbentuk selama Miosen akibat tumbukan lempeng mikro cekungan Banggai-Sula dengan busur tersier nonvulkanik (Fatimah, 2016). Tektonik regional Sulawesi Tengah mencakup titik *triple junction* antara lempeng Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Terdapat dua blok mikrokontinen, yaitu Buton-Tukang Besi dan Sula Spur yang merupakan tumbukan di bagian sisi timur Sulawesi dan awal mula dari proses orogenesis pada daerah tersebut (Simandjuntak, 1986).

Terdapat empat provinsi geologi di Sulawesi, antara lain *Western Sulawesi plutonovolcanic arc*, *Central Sulawesi metamorphic belt*, *East Sulawesi ophiolite belt*, serta *Microcontinent fragment of Banggai-Sula* dan *Buton-Tukang Besi* (Hamilton, 1979).





Gambar di atas merupakan ilustrasi dari stratigrafi Cekungan Banggai yang dipisahkan menjadi 2 bagian besar, yaitu *pre* dan *post-collision*. Pada sikuen *pre-collision* mewakili asosiasi batuan tepi benua di atas Lempeng Australia sementara sikuen *post-collision* didominasi oleh molasa yang diendapkan di depan kompleks sesar naik yang bermigrasi ke timur. Batuan dasar pada Cekungan Banggai terdiri dari batuan yang berumur Permo-Trias yang ditutupi secara tidak selaras oleh sikuen turbidit, batugamping, dan serpih laut dalam Mesozoikum. Sikuen serpih tebal berumur Jura seringkali diinterpretasikan sebagai sumber batuan induk utama pada daerah ini (Pertamina-BPPKA, 1994).

Pada unit Kenozoikum terdapat dominasi oleh endapan tipis konglomerat alas dan batugamping berumur Eosen Akhir-Oligosen Akhir yang ditutupi oleh endapan batuan karbonat dan silisiklastik Grup Salodik yang tebal berumur Miosen. Grup Salodik dapat dibagi menjadi 3 formasi, yaitu Tomori (*lower Platform Limestone units*), Matindok (*clastic and coals*), dan Minahaki (*upper Platform Limestone*). Sikuen ini ditutupi secara tidak selaras oleh Sikuen Pleistosen yang dikenal dengan *Celebes Molasse*. Formasi Tomori dan Matindok berperan sebagai reservoir pada cekungan ini (Pertamina dan LAPI, 2018).

Formasi Tomori diendapkan secara tidak selaras di atas batuan dasar pada Miosen Awal dengan didominasi oleh batugamping yang diendapkan pada lingkungan laut dangkal. Formasi Tomori merupakan endapan *post-rift* yang mengakibatkan endapan dengan ketebalan yang relatif seragam. Batugamping berwarna putih kehitaman hingga putih keabuan dan bersifat *solid* (keras) yang terdiri dari jenis *wackstone-mudstone* serta sebagian berupa *packstone*. (Pertamina dan LAPI, 2018; Pertamina, 2019; Muhammad, 2020).

Formasi Matindok diendapkan di atas Formasi Tomori dengan umur Miosen Tengah dengan didominasi batulempung dan batupasir dengan sedikit sisipan batugamping dan batubara. Formasi Matindok merupakan sublittoral-litoral dan merupakan sekuen regresi selama kala Miosen. Batulempung berada pada bagian bawah Formasi Matindok yang kontak dengan bagian atas batugamping Formasi Tomori. Bagian tengah formasi secara berangsur-angsur terakumulasi dengan batugamping yang kian tebal ke atas (Pertamina dan LAPI, 2018; Pertamina, 2019; Muhammad, 2020).

Formasi Minahaki berumur Miosen Tengah-Akhir yang diendapkan di atas Formasi Matindok. Formasi Minahaki juga merupakan endapan *post-rift* yang terdiri dari batugamping dengan warna krem hingga putih, memiliki kekerasan sedang hingga keras, mikro kristalin sampai kristalin, sebagian kapuran dan dijumpai sedikit *vuggy porosity* dengan kenampakan porositas kecil. Bagian Formasi Minahaki memiliki karakter *build-up* karbonat sebagai batugamping terumbu anggota Mentawa. Terdapat pula fosil foraminifera dengan bagian bawah terdapat *carbon speck* (Pertamina dan LAPI, 2018; Pertamina, 2019; Muhammad, 2020).



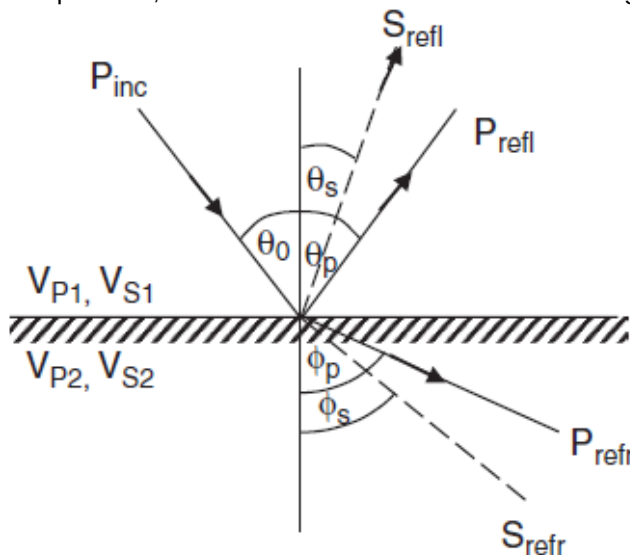
Formasi Mentawa diendapkan pada Miosen Akhir yang tersusun atas diklasifikasikan sebagai *coral boundstone* yang pada beberapa dengan batugamping klastik seperti *wackstone* dan *packstone*. Formasi Mentawa berwarna krem hingga putih, dengan kompaksitas matriks karbonat mikro kristalin (Pertamina dan LAPI, 2018; Muhammad, 2020; Putri, dkk, 2018).

1.3.2. Seismik Refleksi

Seismik refleksi merupakan metode eksplorasi hidrokarbon yang didasarkan pada penalaran gelombang elastik yang berasal dari suatu sumber getar pada permukaan bumi. Sumber getar dapat berupa pukulan palu, ledakan dinamit, *air gun*, dan lain sebagainya. Gelombang dari sumber getar akan merambat ke segala arah melalui medium tanah atau batuan di bawah permukaan. Dalam perambatan gelombang terdapat selang waktu antara gelombang yang direfleksikan, sehingga terjadi perubahan amplitude sebagai gambaran keadaan perlapisan bawah permukaan (Badley, 1985; Santoso, 2002).

1.3.2.1. Hukum Snellius

Hukum *Snellius* menyatakan bahwa sudut pantulan suatu gelombang sama dengan sudut datangnya. Jika suatu berkas gelombang P datang mengenai permukaan bidang batas antara dua medium yang berbeda maka sebagian energi gelombang tersebut akan dipantulkan dan ditransmisikan sebagai gelombang P dan gelombang S. Kedua sudut tersebut diukur dari garis normal terhadap bidang batas antara dua lapisan dengan impedansi seismik yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 3. Bagian dari energi datang yang ditransmisikan melalui batas dan masuk ke lapisan kedua dengan arah propagasi yang berubah disebut sebagai sinar bias. Arah sinar bias ini bergantung pada perbandingan kecepatan gelombang di kedua lapisan. Apabila kecepatan di lapisan kedua lebih besar dari kecepatan di lapisan pertama, sinar bias akan dibelokkan mendekati bidang horizontal dan apabila kecepatan di lapisan kedua lebih kecil dari kecepatan di lapisan pertama, sinar bias akan dibelokkan mendekati garis vertikal.



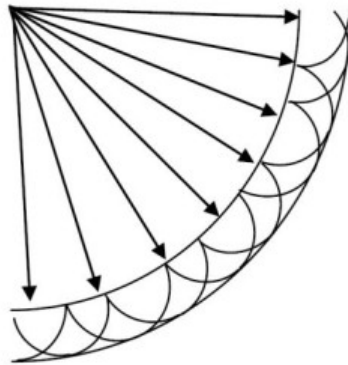
Gambar 3. Hukum Snellius



jens

atakan bahwa "setiap titik pada muka gelombang yang merambat sebagai sumber baru dari gelombang sekunder". Di mana setiap titik dapat menjadi *source* dari gelombang sekunder yang memancarkan ke segala arah. Posisi muka gelombang pada waktu berikutnya dapat

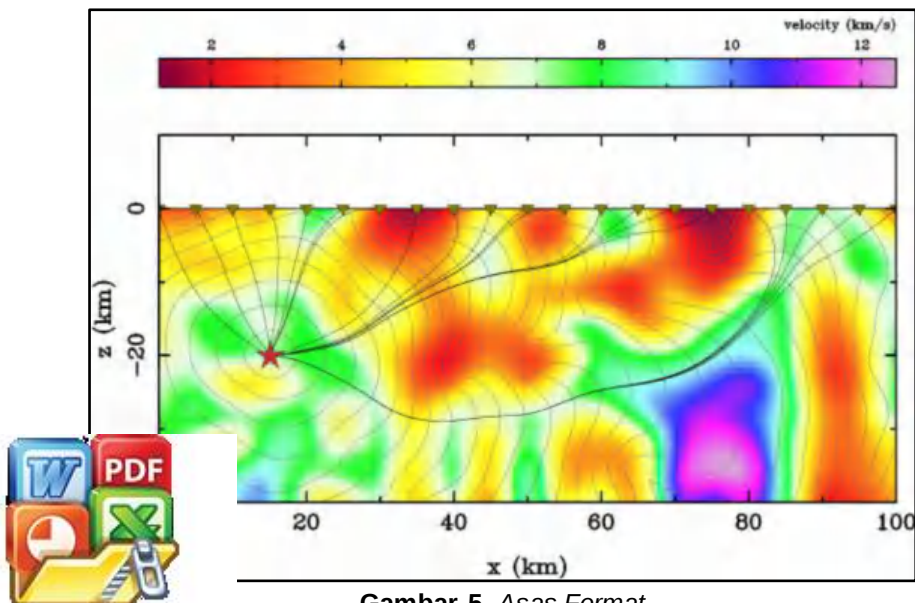
ditentukan dengan membuat permukaan yang menyinggung semua gelombang sekunder tersebut. Prinsip ini menjelaskan mekanisme hilangnya energi pada impuls seismik seiring dengan perambatannya ke kedalaman seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Prinsip Huygens

1.3.2.3. Asas Fermat

Asas Fermat menyatakan bahwa gelombang merambat pada lintasan dengan waktu rambat tercepat. Gelombang akan merambat lebih cepat pada medium yang lebih kompak. Kemudian gelombang cenderung melalui zona dengan kecepatan tinggi dan menghindari zona dengan kecepatan rendah. Dalam eksplorasi seismik, impuls seismik yang merambat melalui suatu medium mengikuti lintasan yang menghubungkan sumber dan receiver. Namun, berdasarkan prinsip *Fermat*, terdapat kemungkinan adanya lebih dari satu lintasan rambat. Kondisi ini dapat menyebabkan munculnya lebih dari satu kejadian pantulan primer (refleksi primer).



Gambar 5. Asas Fermat

1.3.3. Data Sumur

1.3.3.1. Log Litologi

1. Log Gamma Ray

Log Gamma Ray digunakan untuk mengidentifikasi litologi dengan mengukur unsur radioaktif dalam formasi. Material yang memiliki konsentrasi radioaktif yang rendah seperti batupasir dan batu karbonat yang akan memberikan pembacaan rendah pada log gamma ray. Hal ini juga mengindikasikan keberadaan shale dimana gamma ray yang rendah berarti shale-free. Dengan meningkatnya kandungan shale, maka respon gamma ray juga akan meningkat disebabkan oleh konsentrasi material radioaktif di dalamnya (Asquith dan Krygowski, 2004).

Akan tetapi, clean sandstone dengan kandungan shale yang rendah dapat pula menunjukkan respon gamma ray yang tinggi jika batupasir mengandung potassium feldspars, micas, glauconite atau uranium. Rekaman log gamma ray tidak hanya jumlah gamma ray dari formasi tetapi juga energi dan kurva yang merepresentasikan kadar Thorium (Th), Potassium (K), dan Uranium (U) pada formasi. Jika zona batupasir tertentu memiliki kadar Potassium yang tinggi dan respon gamma ray yang tinggi pula, maka zona tersebut belum tentu shale. Sebaliknya, zona tersebut dapat berupa feldspathic, glauconitic, atau micaceous sandstone/batupasir (Asquith dan Krygowski, 2004).

2. Log Spontaneous Potential (SP)

Log Spontaneous Potential (SP) dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya reservoir karena dapat membedakan zona permeable dan impermeabel. Log SP juga digunakan untuk mengkorelasikan zona antar sumur. Volume shale dapat dihitung menggunakan log SP pada zona yang permeabel (Asquith dan Krygowski, 2004).

Selain itu, permeable beds, batas dari zona permeabel, formation water resistivity dapat dihitung menggunakan log SP. Variasi dari log SP merupakan hasil dari potensial elektrik yang terdapat antara sumur dan formasi sebagai hasil dari perbedaan salinitas antara mud filtrate dan air formasi. Respon log SP pada shale relatif konstan dan garis vertikal sepanjang respon SP pada shale dianggap sebagai shale baseline (Asquith dan Krygowski, 2004).

1.3.3.2. Log Porositas

1. Log Neutron

Log neutron merupakan hasil produksi dari alat yang memancarkan neutron dari Americium beryllium atau sumber radioaktif lainnya terhadap formasi. Neutron yang dipancarkan membuat batuan emit gamma ray dalam proporsi kandungan hidrogennya. Hidrogen terdapat pada seluruh fluida formasi (minyak, gas, atau air) dalam reservoir. Sehingga, respon dari log neutron berkorelasi dengan porositas. Pembacaan log neutron yang rendah dapat diindikasikan sebagai reservoir gas. Sedangkan pada pembacaan log neutron yang tinggi dapat berupa minyak atau air karena kandungan hidrogennya. Selain itu, struktur batuan, porositas, dan litologi juga berpengaruh terhadap pembacaan log neutron (Skelley dan Sonnenberg, 2015).



; menghitung kandungan radioaktif dalam formasi dengan emit gamma ray terhadap formasi dan merekam jumlah radiasi yang diterima dari formasi. Log gamma ray berhubungan dengan electron density (densitas elektron) dalam

formasi yang secara langsung berkaitan pula dengan *bulk density* formasi. Nilai densitas berbeda untuk setiap litologi.

Tabel 1. Litologi Batuan Berdasarkan Densitas (Selley dan Sonnenberg, 2015):

Litologi	Densitas (g/cm ³)
<i>Sandstone</i>	2,65
<i>Limestone</i>	2,71
<i>Dolomite</i>	2,87

3. Log Sonic

Log sonic menghitung *velocity* akustik pada formasi yang dapat digunakan untuk menentukan porositas. Pada log sonic yang direkam adalah *interval transit time*. Gelombang suara secara umum menjalar lebih cepat melalui formasi daripada lubang bor dengan *mud* (lumpur). Log sonic hanya dapat digunakan pada sumur yang terbuka. (Selley dan Sonnenberg, 2015).

Log sonic merupakan cara yang kurang akurat dari ketiga log porositas karena log sonic sangat dipengaruhi oleh litologi. Di sisi lain, log sonic dapat digunakan untuk identifikasi litologi dan koreksi antar sumur. Log sonic juga sangat bermanfaat bagi Geofisikawan karena dapat digunakan untuk menentukan interval *velocity* dari formasi dan menghubungkan waktu *reflector* terhadap batuan yang sebenarnya di sekitar lubang bor. Oleh karena itu, log sonic juga merekam total *travel time* dalam milisekon (Selley dan Sonnenberg, 2015).

1.3.3.3. Log Resistivitas

Terdapat tiga cara dalam menghitung resistivitas elektrik formasi dengan penetrasi lubang bor, antara lain melalui teknik log normal, *laterolog*, dan log induksi (*induction log*). Log normal atau disebut pula dengan resistivitas konvensional, merekam potensial elektrik dan *flow of current*. Alat resistivitas normal banyak digunakan pada sumur yang tua. Sedangkan *laterolog* lebih umum digunakan pada masa kini dengan resistivitas rendah untuk *salty muds*. Pada *freshwater* atau *oil-based muds* dengan resistivitas rendah digunakan *induction log*. Log induksi mentransmisi dan menerima *coils* yang diletakkan pada kedua ujung sonde yang umumnya mentransmisi frekuensi tinggi (Selley dan Sonnenberg, 2015).

Resistivitas pada formasi sangat bervariasi tergantung pada jenis batuan. Batuan yang solid memiliki resistivitas yang tinggi. Di sisi lain, *shale* dan formasi yang *porous* yang tersaturasi dengan *brine water* memiliki resistivitas yang rendah. Identifikasi zona hidrokarbon dari log resistivitas dapat memberikan informasi mengenai litologi batuan di mana resistivitas tinggi dengan permeabilitas tinggi mengindikasikan formasi yang dapat berisi minyak, gas, atau air. Sedangkan pada resistivitas rendah dengan permeabilitas tinggi, dapat diindikasikan adanya formasi dengan *brine water* (Selley dan Sonnenberg, 2015).



Sintetik

sintetik adalah seismogram tiruan hasil konvolusi suatu *wavelet* eksis. Seismogram sintetik dibuat dengan cara mengkonvolusikan koefisien refleksi. *Wavelet* diperoleh dari hasil ekstraksi penampang koefisien refleksi merupakan hasil dari impedansi akustik yang

diperoleh dari log sonic dan log densitas. Seismogram sintetis didapatkan melalui rumus sebagai berikut (Russell, 1988):

$$S(d) = w(d) * r(d) + n(d) \quad (2.13)$$

Dengan:

$S(d)$ = *trace seismic* dalam domain kedalaman
 $w(d)$ = *wavelet* dalam domain kedalaman
 $r(d)$ = koefisien refleksi dalam domain kedalaman
 $n(d)$ = *noise* dalam domain kedalaman

1.3.4.2. Wavelet Ricker

Wavelet Ricker merupakan jenis *wavelet* yang dibuat dengan parameter spesifik berupa frekuensi dominan, yaitu respon frekuensi yang memiliki amplitudo maksimal. Ada berbagai jenis gelombang kecil (*wavelets*) digunakan dalam praktik. Perkiraan yang akurat terhadap gelombang kecil sangat penting dalam pemrosesan seismic. Gelombang kecil yang sering digunakan dalam pembangkitan seismogram sintetis adalah gelombang kecil Ricker, yang dinamai menurut Norman Ricker. Gelombang kecil Ricker bersifat non-kausal dan simetris terhadap waktu asalnya. Selain itu, gelombang kecil Ricker memiliki sifat penting bahwa ia merupakan sinyal nol fasa. Rumus *wavelet Ricker* adalah sebagai berikut (Hampson Russell Suite):

$$\omega(t) = (1 - 2\pi^2 f^2 t^2) e^{-\pi^2 f^2 t^2}$$

Dengan:

$\omega(t)$ = amplitudo *wavelet* pada waktu t
 f = frekuensi dominan
 t = waktu

1.3.5. Well Seismic Tie

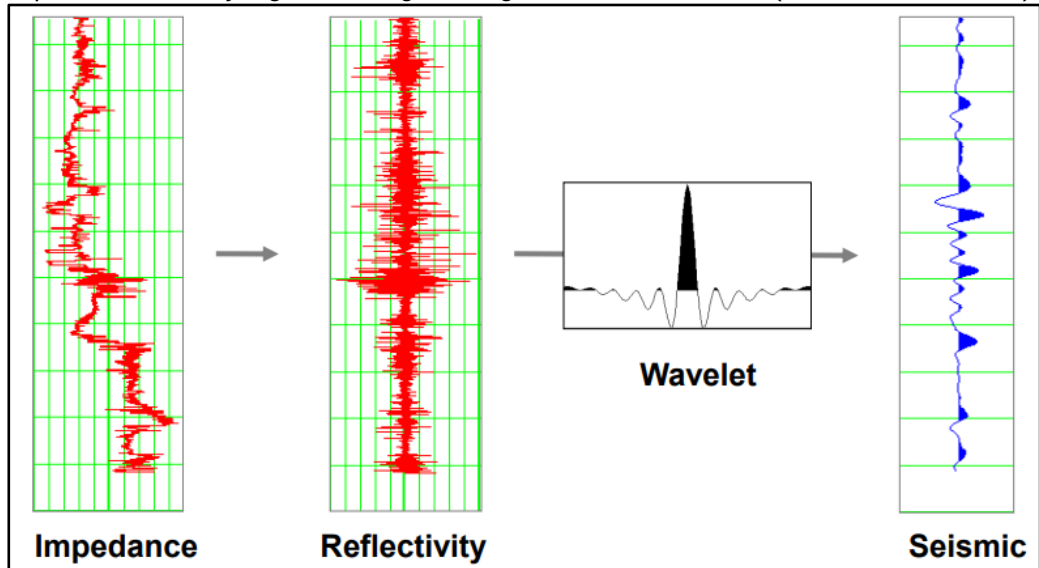
Well seismic tie merupakan pengikatan sumur ke seismic yang dilakukan dengan menggunakan log densitas dan log sonic yang sudah dikoreksi terhadap data *checkshot* sehingga domain sumur (kedalaman) dapat diletakkan pada domain yang sama, yaitu domain kedalaman. Melakukan *well seismic tie* untuk memposisikan data seismic dan data sumur pada kedalaman yang sama. Proses *well tie* diawali dengan melakukan ekstraksi *wavelet* dari data untuk mendapatkan seismogram sintetis yang merupakan hasil konvolusi dari koefisien refleksi dan *wavelet* dari data. Ekstrak *wavelet* merupakan proses *trial and error* untuk menghasikan *wavelet* yang paling tepat. Penulis melakukan ekstrak *wavelet* dengan mengekstrak *wavelet statistical*, *wavelet* ini dipilih karena memiliki korelasi paling tinggi ing *wavelet* lainnya. *Well tie* dilakukan untuk memperoleh nilai korelasi yang tinggi. Nilai korelasi sendiri menunjukkan kualitas data, bila nilai korelasi semakin mendekati angka 1 maka proses pengikatan data yang dilakukan juga sebaliknya. Bila nilai korelasi semakin mendekati 1, maka n sintetis semakin menyerupai tras yang sebenarnya.



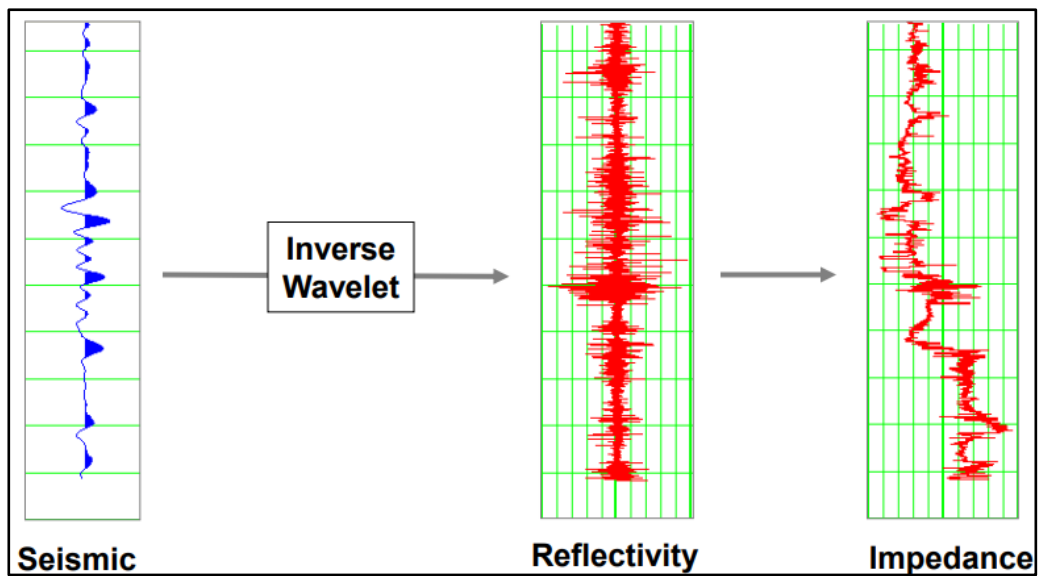
versi

si digunakan untuk mendapatkan parameter impedansi akustik dari junakan dalam proses ini merupakan data *post-stack*. Dengan ersebut, maka dapat diasumsikan bahwa sudut reflektivitas nol,

sehingga hasil inversi *post-stack* hanya digunakan untuk menghasilkan parameter impedansi akustik yang berhubungan dengan sifat fisis reservoir (Kaliandra, dkk, 2019).



Gambar 6. Diagram Forward Modelling (Russell, 1996)



Gambar 7. Diagram Alir Inverse Modelling (Russell, 1996).



1.3.6.1. Metode Model Based

Tabel. Data Input dan Parameter Metode Post-Stack Inversi

Metode	Data input	Parameter
<i>Initial model</i>	Data seismik, <i>well log</i> (density, <i>P</i> -wave velocity, <i>P</i> -impedance), dan horizon	<i>High-cut frequency</i>
<i>Model based</i>	<i>Wavelet Ricker</i> , <i>well log</i> (density, <i>P</i> -wave velocity, <i>P</i> -impedance), dan horizon	<i>Hard constraint, average block size, prewhitening, & iteration.</i>
<i>Bandlimited</i>	<i>Wavelet Ricker</i> , <i>well log</i> (density, <i>P</i> -wave velocity, <i>P</i> -impedance), dan horizon	<i>High-cut frequency</i>
<i>Maximum Likelihood Sparse Spike (MLSS)</i>	<i>Wavelet Ricker</i> , <i>well log</i> (density, <i>P</i> -wave velocity, <i>P</i> -impedance), dan horizon	<i>Maximum number of spikes, spike detection threshold, hard constraint, & iteration.</i>

Metode *model based* merupakan inversi berdasarkan iterasi dari model awal kemudian dikonvolusikan dengan *wavelet* tertentu sampai didapatkan *trace seismic* hasil konvolusi sedemikian didapatkan selisih yang paling kecil antara data *trace seismic* dengan *trace seismic* hasil konvolusi. Secara matematis, model dan data pengukuran dapat dirumuskan sebagai berikut (Russell, 1988):

$$M = (m_1, m_2, m_3, \dots, m_k)^T \quad (2.1)$$

$$D = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_n)^T \quad (2.2)$$

Dengan M adalah vektor model dengan parameter k , lalu D adalah vektor data pengukuran dengan parameter n .

Hubungan antara model dan data pengukuran dinyatakan dengan persamaan:

$$d_i = F(m_1, m_2, m_3, \dots, m_k), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.3)$$

Dengan F adalah suatu fungsi hubungan antara model dan data pengukuran. Proses ini akan membentuk model dengan metode *trial and error* dengan cara menganalisis perbandingan antara keluaran model dengan data hasil pengukuran yang pasti memiliki tingkat kesalahan tertentu. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang dengan jumlah iterasi tertentu sehingga diperoleh hasil dengan tingkat kesalahan terkecil. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Russell, 1988):

$$F(M) = F(M_0) + \frac{\partial F(M_0)}{\partial M} (\Delta M) \quad (2.4)$$



dan awal
i sebenarnya
parameter model
kurun
tungan dari model dugaan

$\frac{\partial F(M_0)}{\partial M}$ = perubahan harga perhitungan terhadap model

1.3.6.2. Metode Bandlimited

Metode inversi *bandlimited* atau rekursif merupakan metode yang menghitung nilai akustik impedansi lapisan batuan berikutnya dari lapisan sebelumnya. Metode ini menggunakan algoritma rekursif klasik yang mengasumsikan *trace seismic* sebagai suatu deret koefisien refleksi (KR) yang telah difilter oleh *wavelet zero-phase*. Metode ini dimulai dari persamaan (Russell, 1988):

$$AI = \rho \cdot V \quad (2.9)$$

Dimana AI adalah akustik impedansi, ρ adalah densitas dan V adalah velocity.

Refleksi terjadi apabila terdapat perubahan pada nilai akustik impedansi. Koefisien refleksi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$KR = \frac{AI_{(n+1)} - AI_n}{AI_{(n+1)} + AI_n} = \frac{\rho_{(n+1)} \cdot V_{(n+1)} - \rho_n \cdot V_n}{\rho_{(n+1)} \cdot V_{(n+1)} + \rho_n \cdot V_n} \quad (2.10)$$

Jika terdapat sebuah koefisien refleksi (KR), maka dapat diperoleh akustik impedansi dengan menginversi persamaan (2.9). Dimulai dari definisi lapisan $(n + 1)$ dan dihitung dari lapisan ke n menggunakan persamaan:

$$AI_{(n+1)} = AI_n \times \frac{1 + KR_n}{1 - KR_n} \quad (2.11)$$

Akustik impedansi dari setiap lapisan dapat diketahui menggunakan persamaan berikut:

$$AI_n = AI_1 \times \Pi \left[\frac{1 + KR_n}{1 - KR_n} \right] \quad (2.12)$$

Dengan

AI_n = akustik impedansi lapisan n

AI_1 = akustik impedansi lapisan 1

KR_n = koefisien refleksi lapisan n

Π = operasi rekursif

1.3.6.3. Metode Maximum Likelihood Sparse Spike

Inversi *post-stack maximum likelihood sparse spike* merupakan metode yang bergantung pada dekonvolusi reflektivitas bumi dari data seismic, kemudian diubah menjadi akustik impedansi. Akustik impedansi memperlihatkan struktur *blocky* di bawah permukaan dan meningkatkan interpretasi seismic. Pada setiap *trace* dilakukan estimasi dengan menambahkan koefisien refleksi satu per satu hingga mencapai tahap optimal (Maurya dan Sarkar, 2016).

Dekonvolusi *maximum likelihood spare spikes* mengasumsikan bahwa reflektivitas sebagai seri dari *spike-spike* besar yang bertumpukan dengan *spike-spike* yang lebih kecil sebagai *background*. Kemudian dilakukan estimasi *wavelet* berdasarkan asumsi model tersebut. Metode ini mengasumsikan bahwa hanya *spike-spike* yang besar



versi ini mencari lokasi *spike* yang besar dari *trace seismic*. *Spike*-ditambahkan sampai *trace* dimodelkan secara cukup baik hingga impedansi ditentukan dengan menggunakan algoritma inversi *model* eter tambahan pada metode ini adalah menentukan jumlah *g* akan dideteksi pada setiap *trace seismic* dan *threshold* pendeteksi *trace seismic* didefinisikan oleh (Russell, 1988):

$$S(d) = w(d) * r(d) + n(d) \quad (2.13)$$

Dengan:

$S(d)$ = *trace seismic* dalam domain kedalaman

$w(d)$ = *wavelet* dalam domain kedalaman

$r(d)$ = koefisien refleksi dalam domain kedalaman

$n(d)$ = *noise* dalam domain kedalaman

Dari model bawah permukaan diturunkan fungsi objektif dari solusi optimum dapat diminimalkan melalui seri reflektivitas bumi sebagai berikut:

$$E = \sum_{k=1}^L \frac{r^2(k)}{R^2} + \sum_{k=1}^L \frac{n^2(k)}{N^2} - 23 \ln(\lambda) - 2(L-3) \ln(1-\lambda) \quad (2.14)$$

Dengan

E = fungsi objektif

L = jumlah total sampel

k = sampel

r = koefisien refleksi

R = akar kuadrat dari koefisien refleksi

n = *noise*

N = akar kuadrat dari *noise*

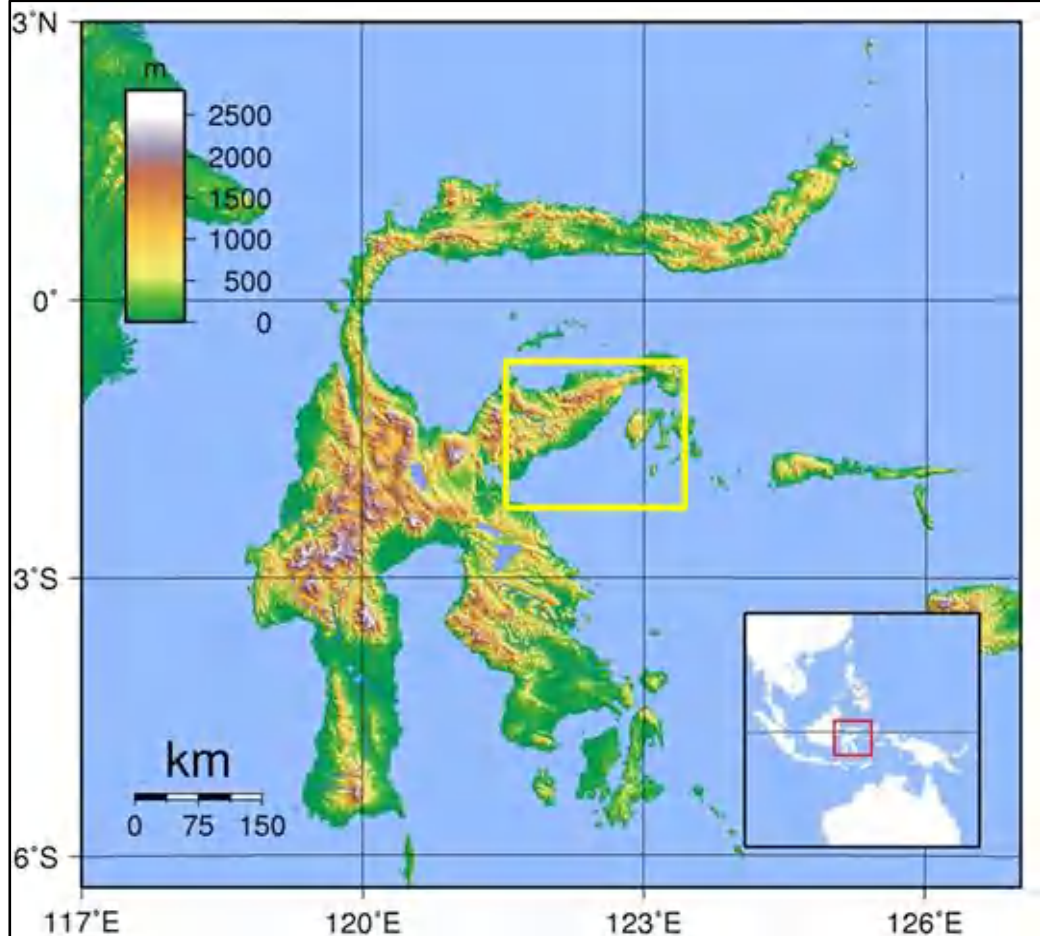
Dimana λ adalah kemungkinan bahwa sampel tertentu memiliki refleksi tertentu. Solusi dekonvolusi dengan jumlah *spike* minimum pada seri reflektivitasnya dan komponen *noise* terendah yang cocok dengan *trace seismic* dianggap sebagai solusi terbaik.



BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Daerah penelitian tugas akhir ini berada pada Blok Matindok di Desa Uwelolu, Kecamatan Toili Barat, Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah. Proses pengolahan data dilakukan di Laboratorium Geofisika Padat, Departemen Geofisika, Universitas Hasanuddin dan Bagian Eksplorasi Regional 4 PT. Pertamina EP Cepu, Jakarta Selatan.



Gambar 8. Peta Lokasi Penelitian

2.2. Data dan Perangkat Penelitian

Pada penelitian ini, data yang digunakan antara lain sebagai berikut:

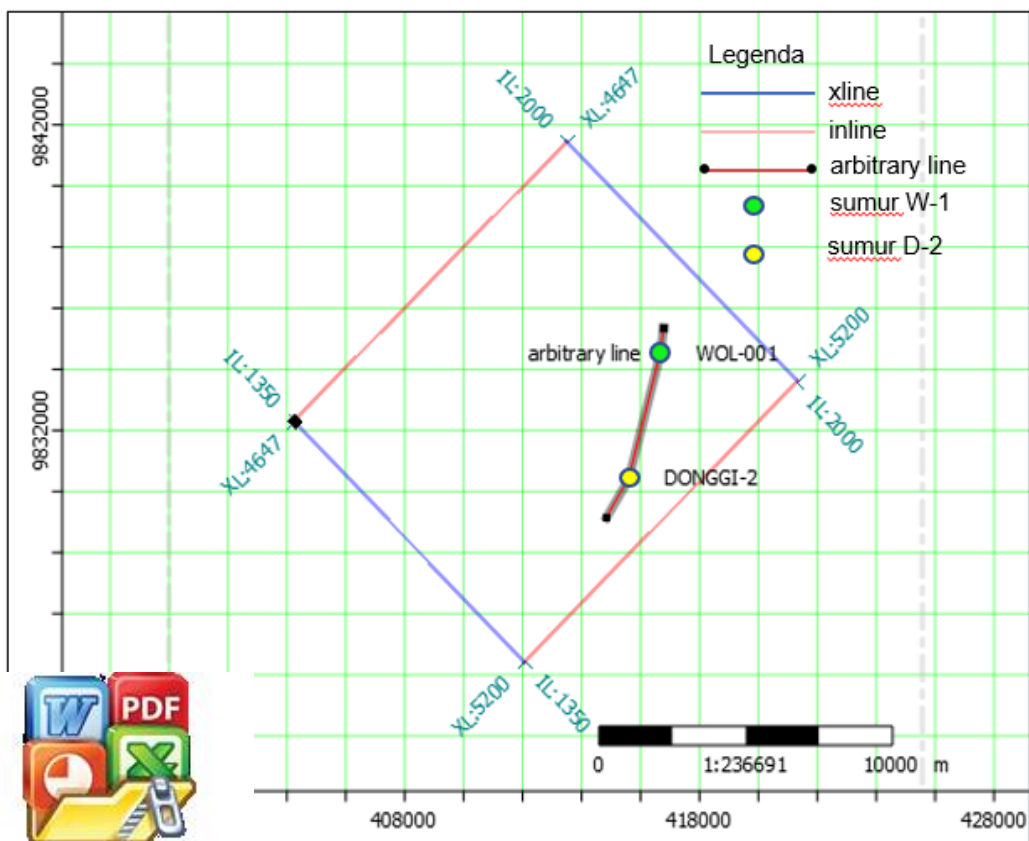
1. Data Seismik



yang digunakan berupa 3D *post-stack depth migration* (PSDM) dataset dalam format SEG-Y. *Trace seismic* berjumlah 360.654 dengan *inline* 1350 sampai dengan 2000 dan *xline* 554 dimulai dari 4647 dengan *increment* 1. Artinya dari *inline* 1350 ke 1351 berpindah 1 m dan jarak 5 m.

Tabel 2. Informasi Data Seismik

Data Seismik	Jumlah
Shot interval (m)	25
First inline	1350
Last inline	2000
Jumlah inline	651
First xline	4647
Last xline	5200
Jumlah xline	554
Jumlah trace	360640
Total kedalaman (m)	8000
Volume data (GB)	2.2



Gambar 9. Base Map

2. Data Sumur

Data sumur terdiri dari sumur W-1 dengan total kedalaman 2370 m dan sumur D-2 dengan total kedalaman 2479 m dengan *step increment* 0.15 m yang terdiri dari log *gamma ray*, log *spontaneous potential*, log *resistivity*, log *neutron porosity*, log *bulk density*, log *sonic*, log *checkshot*.

Tabel 3. Informasi Data Sumur

Data Sumur	W-1	D-2
Koordinat X	416679	415615.55
Koordinat Y	9834517.84	9830411.62
Posisi pada <i>inline</i>	1869	1687
Posisi pada <i>xline</i>	5006	5114
Elevasi <i>Kelly Bushing</i> (m)	33,09	15,39
Elevasi Permukaan (<i>Ground Level</i>) (m)	25,48	7,5
CDP	252	71

Pada penelitian ini, digunakan dua data utama yaitu data seismic dan data sumur. Proses awal yang dilakukan adalah melakukan analisis daerah potensial hidrokarbon formasi Tomori dan Matindok melalui data sumur. Kemudian, setelah didapatkan informasi lokasi kedalaman reservoir target melalui hasil analisis data sumur, *marker* formasi, dan informasi pendukung lain, dilakukan proses *well seismic tie* untuk mengkorelasikan antara data sumur dengan data. Data sumur dengan resolusi vertical sangat baik dan memiliki tingkat kepercayaan tinggi digunakan sebagai pengontrol dan acuan awal dalam melakukan interpretasi horizon pada data, melalui korelasi antara sintetik seismogram dengan data yang di daerah sumur.

Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah penginputan data sumur melalui informasi *header log* pada sumur untuk mengetahui beberapa informasi penting yang dimiliki oleh masing-masing data sumur seperti koordinat lokasi sumur, elevasi titik pengeboran, elevasi dari *isba bushing* serta satuan yang digunakan dari setiap data yang akan didefinisikan pada saat melakukan input data. Pada penelitian ini digunakan 2 sumur, yaitu W-1 dan D-2. Data sumur yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 2 buah sumur, dengan masing-masing memiliki data sumur log seperti log Gamma Ray (GR), log Densitas (RHOB), log Sonic (DT) dan *Checkshot*.

3. Data Horizon

Data horizon berupa garis yang menunjukkan kemenerusan lapisan pada penampang seismik yang terdiri dari horizon Mentawa, Minahaki dan *basement*. Horizon juga merepresentasikan batas-batas lapisan. Horizon dibuat dengan *pick* reflektor besar pada tiap *inline* dan *xline* data seismik.

Adapun perangkat yang digunakan berupa *software Hampson-Russell Suite* dan *Microsoft Word*, dan *Microsoft Office Excel*.



Optimized using
trial version
www.balesio.com

dan

dan pengolahan data sebagai berikut:

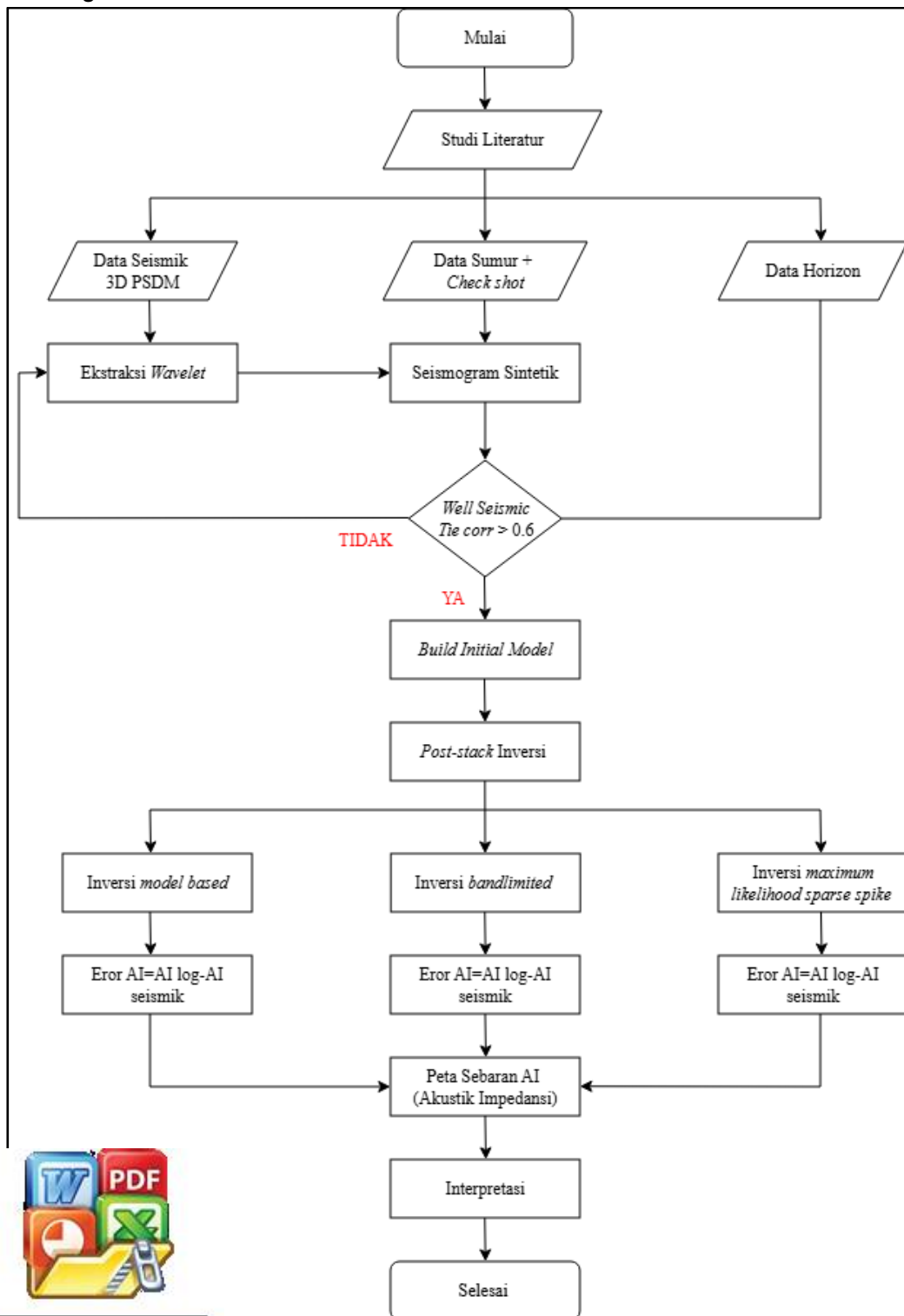
data seismik 3D *post-stack depth migration* (PSDM).

data log sumur W-1 dan D-2, dan data horizon ke *software Hampson-*

3. Mengekstraksi *wavelet* dapat dilakukan dengan *Ricker*. *Ricker wavelet* merupakan perkiraan *wavelet* berdasarkan frekuensi dominan.
4. Melakukan *well seismic tie* dengan pengikatan data seismik dan data sumur. Proses ini dilakukan untuk menyamakan *domain* data seismik, yaitu waktu (*time*) dengan satuan milisekon dan data sumur, yaitu kedalaman (*depth*) dengan satuan meter. Meskipun data seismik pada penelitian adalah *domain* kedalaman, tetap dilakukan *well seismic tie* untuk memastikan kedua data berada pada kedalaman yang sama. Selain itu, proses ini juga berguna untuk mengetahui posisi *marker* Geologi pada data seismik.
5. Membuat *initial model* dengan menggunakan data penampang seismik 3D, *wavelet*, horizon Mentawa, Minahaki, dan basement. Horizon digunakan sebagai panduan dalam ekstrapolasi data seismik dan data sumur. *Initial model* merupakan gambaran ekstrapolasi nilai akustik impedansi yang cukup baik dengan mengikuti kontrol dari data sumur.
6. Melakukan *post-stack* inversi metode *model based*, *bandlimited*, dan *maximum likelihood sparse spike*.
7. Membuat peta sebaran akustik impedansi (AI) dengan *slicing* hasil inversi.
8. Melakukan interpretasi terhadap peta sebaran akustik impedansi (AI).



2.4. Bagan Alir Penelitian



Gambar 10. Bagan Alir Penelitian