

## **BAB III.**

### **TEORI DASAR**

#### **3.1. Seismik Refleksi**

Pengertian secara spesifik tentang inversi seismik dapat didefinisikan sebagai suatu teknik pembuatan model bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai *input* dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono, 2000). Definisi tersebut menjelaskan bahwa metode inversi merupakan kebalikan dari pemodelan dengan metode ke depan (*forward modeling*) yang berhubungan dengan pembuatan seismogram sintetik berdasarkan model bumi membagi metode inversi seismik dalam dua kelompok, yaitu inversi *pre-stack* dan inversi *post-stack*.

Inversi *post-stack* terdiri dari inversi rekursif (*Bandlimited*), inversi berbasis model (*Model Based*) dan inversi *Sparse Spike*. Inversi *pre-stack* terdiri atas inversi amplitudo (*AVO = Amplitude Versus Offset*) dan inversi waktu penalaran (*traveltime*) atau tomografi (Russell, 1996).

Metode seismik refleksi merupakan metode yang sering digunakan untuk mencari hidrokarbon. Kelebihan metode seismik dibanding metode yang lain adalah resolusi horisontalnya yang lebih baik.

Refleksi seismik terjadi ketika ada perubahan impedansi akustik sebagai fungsi dari kecepatan dan densitas pada kedudukan sinar datang yang tegak lurus, yaitu ketika garis sinar mengenai bidang refleksi pada sudut yang tegak lurus, persamaan dasar dari koefisien refleksi adalah:

$$Kr = \frac{\rho_{i+1} V_{i+1} - \rho_i V_i}{\rho_{i+1} V_{i+1} + \rho_i V_i} = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (1)$$

dimana,  $\rho_i$  adalah densitas lapisan ke- $i$ ,  $V_i$  adalah kecepatan lapisan ke- $i$ , dan  $Z_i$  adalah Impedansi Akustik ke- $i$ . Dengan mengetahui harga reflektifitas suatu media, maka dapat diperkirakan sifat fisik dari batuan bawah permukaan.

*Trace* seismik dibuat dengan mengkonvolusikan *wavelet* sumber dengan deret koefisien refleksi reflektor bumi. Konvolusi merupakan operasi matematis yang menggabungkan dua fungsi dalam domain waktu untuk mendapatkan fungsi ketiga. Model satu dimensi seismik *trace* paling sederhana merupakan hasil konvolusi antara reflektivitas bumi dengan suatu fungsi sumber seismik dengan tambahan komponen bising dan secara matematis dirumuskan sebagai (Russel, 1996):

$$S_t = W_t * r_t \quad (2)$$

dengan,  $S_t$  adalah seismogram seismik,  $W_t$  adalah *wavelet* seismik, dan  $r_t$  adalah reflektivitas lapisan bumi. Persamaan (2) dilakukan penyederhanaan dengan mengasumsi komponen bising nol. Seismogram sintetik dibuat berdasarkan *wavelet* yang digunakan pada persamaan diatas.

Seismogram sintetik adalah tidak lain dari model respon total seismik terhadap model dari beberapa batas refleksi pada seksi pengendapan. Metode seismik refleksi dewasa ini masih menjadi salah satu metode yang paling umum digunakan untuk mengidentifikasi akumulasi minyak dan gas bumi.

### 3.2. Trace Seismik

Setiap *trace* merupakan hasil konvolusi sederhana dari reflektivitas bumi dengan fungsi sumber seismik ditambah dengan *noise* (Russel, 1996).

$$S_{(t)} = w_{(t)} * r_{(t)} + n_{(t)} \quad (3)$$

Dengan  $S_{(t)}$  = *trace* seismik,  $w_{(t)}$  = *wavelet* seismik,  $r_{(t)}$  = reflektivitas bumi, dan  $n_{(t)}$  = *noise*.

### 3.3. Lithologi

Perbedaan litologi akan mempengaruhi nilai dari kecepatan gelombang seismik. Secara umum litologi dengan nilai kecepatan gelombang seismik dari yang paling rendah ke yang paling tinggi berturut-turut adalah: batubara, lempung, batupasir, gamping, dan dolomit.

#### 3.3.1. Densitas ( $\rho$ )

Densitas ( $\rho$ ) didefinisikan sebagai massa per *volume* ( $kg/m^3$ ), densitas merupakan salah satu parameter fisis yang berubah secara signifikan terhadap perubahan tipe batuan akibat mineral dan porositas yang dimilikinya. Densitas *bulk* ( $K$ ) merupakan rata-rata densitas dari komponen densitas yang menyusun tubuh batuan tersebut.

### 3.3.2. Kecepatan

Terdapat dua jenis kecepatan gelombang seismik yang berperan penting dalam interpretasi data seismik, yaitu kecepatan gelombang  $P$  (gelombang kompresi) dan gelombang  $S$  (gelombang *shear*). Kedua jenis gelombang ini memiliki karakter yang berbeda-beda, gelombang  $S$  tidak dapat merambat dalam medium fluida dengan arah pergerakan partikel tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombang sedangkan gelombang  $P$  dapat merambat dalam medium fluida dengan arah pergerakan partikel searah dengan arah perambatan gelombangnya. Parameter penting lain dalam interpretasi seismik adalah ratio Poisson's yang dapat digunakan untuk analisis litologi. Poisson's ratio ( $\sigma$ ) adalah parameter elastis yang dapat dinyatakan sebagai fungsi kecepatan gelombang  $P$  dan kecepatan gelombang  $S$ .

### 3.3.3. Porositas

Porositas suatu medium adalah perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh batuan yang dinyatakan dalam persen. Suatu batuan dikatakan mempunyai porositas efektif apabila bagian rongga-rongga dalam batuan saling berhubungan dan biasanya lebih kecil dari rongga pori-pori total. Ada dua jenis porositas yang dikenal dalam teknik reservoir, yaitu porositas absolut dan porositas efektif. Porositas absolut adalah perbandingan antara volume pori-pori total batuan terhadap volume total batuan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai persamaan berikut:

$$\text{Porositas Absolut } (\varphi) = \frac{\text{Volume pori-pori total}}{\text{Volume total batuan}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan porositas efektif adalah perbandingan antara volume pori-pori yang saling berhubungan dengan volume batuan total, yang secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Porositas Efektif } (\varphi) = \frac{\text{Volume pori-pori berhubungan}}{\text{Volume total batuan}} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Perbedaan dari kedua jenis porositas tersebut hanyalah untuk mempermudah dalam pengidentifikasi jenis porositas. Menurut Koesoemadinata (1978), penentuan kualitas baik tidaknya nilai porositas dari suatu reservoir adalah seperti yang terlihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Skala penentuan baik tidaknya kualitas nilai porositas batuan suatu reservoir (Koesoemadinata, 1978).

<b>Harga Porositas (%)</b>	<b>Skala</b>
<b>0 – 5</b>	Diabaikan ( <i>negligible</i> )
<b>5 – 10</b>	Buruk ( <i>poor</i> )
<b>10 – 15</b>	Cukup ( <i>fair</i> )
<b>15 – 20</b>	Baik ( <i>good</i> )
<b>20 – 25</b>	Sangat baik ( <i>very good</i> )
<b>&gt;25</b>	Istimewa ( <i>excellent</i> )

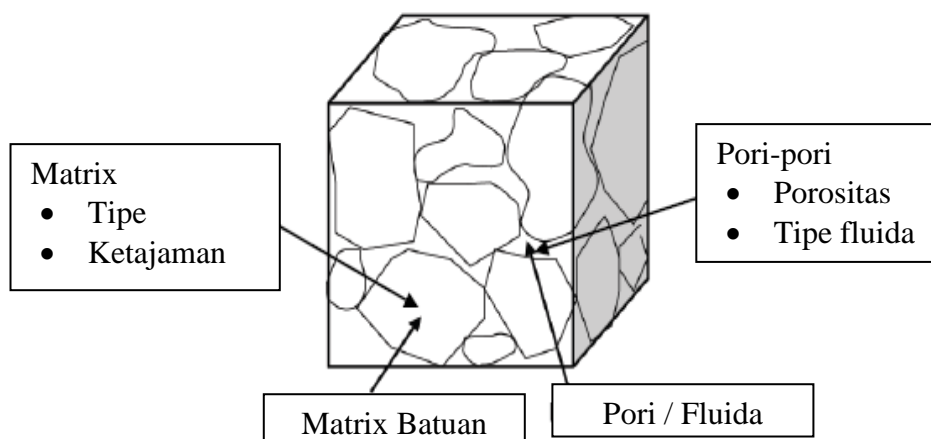
Nilai porositas batuan biasanya diperoleh dari hasil perhitungan data log sumur, yaitu dari data log densitas, log neutron, dan log kecepatan. Secara umum porositas batuan akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman batuan, karena semakin dalam batuan akan semakin kompak akibat efek

tekanan di atasnya. Nilai porositas juga akan mempengaruhi kecepatan gelombang seismik. Semakin besar porositas batuan maka kecepatan gelombang seismik yang melewatinya akan semakin kecil, dan demikian pula sebaliknya. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi nilai porositas adalah:

- a. Butiran dan karakter geometris (susunan, bentuk, ukuran dan distribusi).
- b. Proses diagenesa dan kandungan semen.
- c. Kedalaman dan tekanan.

Susunan porositas dan matrik dalam suatu batuan dapat ditunjukkan pada

**Gambar 2.** di bawah ini :



**Gambar 4.** Porositas dan matrik suatu batuan (Koesoemadinata, 1978).

### 3.4. Sistem Petroleum

Merupakan sebuah sistem yang menjadi panduan utama dalam eksplorasi hidrokarbon. Sistem ini digunakan untuk mengetahui keadaan geologi dimana minyak dan gas bumi terakumulasi.

### 3.4.1. *Source Rock*

Batuan sumber adalah batuan yang merupakan tempat minyak dan gas bumi terbentuk. Pada umumnya batuan sumber ini berupa lapisan serpih/*shale* yang tebal dan mengandung material organik. Secara statistik dapat disimpulkan bahwa presentasi kandungan hidrokarbon tertinggi terdapat pada serpih, yaitu 65%, batugamping 21%, napal 12%, dan batubara 2%.

Kadar material organik dalam batuan sedimen secara umum dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain lingkungan pengendapan dimana kehidupan organisme berkembang secara baik, sehingga material organik terkumpul, pengendapan sedimen yang berlangsung secara cepat sehingga material organik tersebut tidak hilang oleh pembusukan dan atau teroksidasi. Faktor lain yang juga mempengaruhi adalah lingkungan pengendapan yang berada pada lingkungan reduksi, dimana sirkulasi air yang cepat menyebabkan tidak terdapatnya oksigen. Dengan demikian material organik akan terawetkan.

Proses selanjutnya yang terjadi dalam batuan sumber ini adalah proses pematangan. Dari beberapa hipotesa yang diketahui bahwa proses pematangan hidrokarbon dipandang dari perbandingan hidrogen dan karbon yang akan meningkat sejalan dengan umur dan kedalaman batuan sumber itu sendiri (Koesoemadinata, 1978).

### **3.4.2. Migrasi**

Migrasi adalah perpindahan hidrokarbon dari batuan sumber melewati rekahan dan pori-pori batuan waduk menuju tempat yang lebih tinggi. Beberapa jenis sumber penggerak perpindahan hidrokarbon ini diantaranya adalah kompaksi, tegangan permukaan, gaya pelampungan, tekanan hidrostatik, tekanan gas, dan gradien hidrodinamik.

Mekanisme pergerakan hidrokarbon sendiri dibedakan pada dua hal, yaitu perpindahan dengan bantuan air dan tanpa bantuan air. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa migrasi hidrokarbon dipengaruhi oleh kemiringan lapisan secara regional. Waktu pembentukan minyak umumnya disebabkan oleh proses penimbunan dan '*heat flow*' yang berasosiasi dengan tektonik miosen akhir.

### **3.4.3. Reservoir**

Batuan reservoir merupakan batuan berpori, yang dapat menyimpan dan melewatkan fluida. Di alam batuan reservoir umumnya berupa batupasir atau batuan karbonat. Faktor-faktor yang menyangkut kemampuan batuan reservoir ini adalah tingkat porositas dan permeabilitas yang sangat dipengaruhi oleh tekstur batuan sedimen yang secara langsung dipengaruhi sejarah sedimentasi dan lingkungan pengendapannya.

### **3.4.4. Cap Rock**

Lapisan penutup merupakan lapisan perlindungan yang bersifat tidak permeabel yang dapat berupa lapisan lempung, *shale* yang tidak retak,



batugamping pejal atau lapisan tebal dari batugamping. Lapisan ini bersifat melindungi minyak dan gas bumi yang telah terperangkap agar tidak keluar dari sarang perangkapnya.

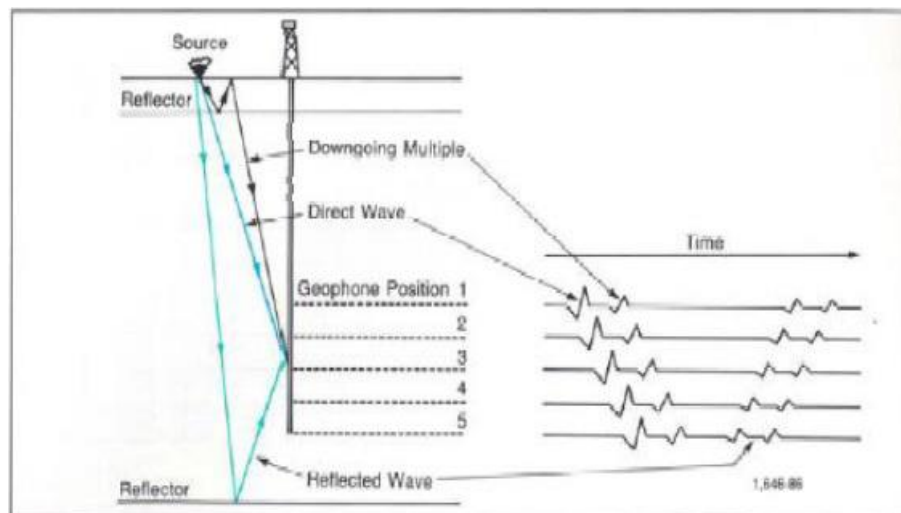
#### **3.4.5. Perangkap (*Trap*)**

Secara geologi perangkap yang merupakan tempat terjebaknya minyak dan gas bumi dapat dikelompokkan dalam tiga jenis perangkap, yaitu perangkap struktur, perangkap stratigrafi dan perangkap kombinasi dari keduanya.

Perangkap struktur banyak dipengaruhi oleh kejadian deformasi perlapisan dengan terbentuknya struktur lipatan dan patahan yang merupakan respon dari kejadian tektonik. Perangkap stratigrafi dipengaruhi oleh variasi perlapisan secara vertikal dan lateral, perubahan facies batuan dan ketidakselarasan. Sedangkan perangkap kombinasi merupakan perangkap paling kompleks yang terdiri dari gabungan antara perangkap struktur dan stratigrafi.

### **3.5. Checkshot**

*Checkshot* dilakukan bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara waktu dan kedalaman yang diperlukan dalam proses pengikatan data sumur terhadap data seismik. Prinsip kerjanya dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5 .** Survei *checkshot*.

Survei ini memiliki kesamaan dengan akuisisi data seismik pada umumnya namun posisi geofon diletakkan sepanjang sumur bor, atau dikenal dengan survey *Vertical Seismik Profilling (VSP)*. Sehingga data yang didapatkan berupa *one way time* yang dicatat pada kedalaman yang ditentukan, sehingga didapatkan hubungan antara waktu jalar gelombang seismik pada lubang bor tersebut.

### 3.6. Impedansi Akustik (IA)

Impedansi Akustik (IA) dapat didefinisikan sebagai sifat fisis batuan yang nilainya dipengaruhi oleh jenis litologi, porositas, kandungan fluida, kedalaman, tekanan dan temperatur. Berdasarkan pengertian tersebut, maka *IA* dapat digunakan sebagai indikator jenis litologi, nilai porositas, jenis hidrokarbon dan pemetaan litologi dari suatu zona reservoir. Secara matematis Impedansi Akustik dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$IA = \rho.v \quad (6)$$

dengan,  $\rho$  adalah densitas ( $\text{gr/cm}^3$ ), dan  $v$  adalah kecepatan gelombang seismik ( $\text{m/s}$ ). Pemantulan gelombang seismik akan terjadi, jika ada perubahan atau kontras IA antara lapisan yang berbatasan. Perbandingan antara energi yang dipantulkan dengan energi datang pada keadaan normal dapat ditulis sebagai berikut;

$$E(\text{pantul})/E(\text{tan } g) = KR^2 \quad (7)$$

$$KR = (IA_2 - IA_1)/(IA_1 + IA_2) \quad (8)$$

$$KR = (\rho_{i+1}V_{i+1} - \rho_iV_i)/(\rho_{i+1}V_{i+1} + \rho_iV_i) \quad (9)$$

$$KR = (IA_{i+1} - IA_i)/(IA_{i+1} + IA_i) \quad (10)$$

dari persamaan (7) didapat untuk kasus lapisan tipis, maka persamaan diatas dapat ditulis kembali menjadi;

$$IA_{i+1} = IA_i(1 + KR_i)/(1 - KR_i) \quad (11)$$

Harga kontras IA dapat diperkirakan dari harga amplitudo refleksi, dimana semakin besar amplitudo refleksi, maka semakin besar kontras IA. Impedansi Akustik seismik memberikan resolusi lateral yang bagus tapi dengan resolusi vertikal yang buruk. Sedangkan IA sumur memberikan resolusi vertikal yang sangat baik tetapi resolusi lateralnya buruk.

Impedansi Akustik dapat digunakan dalam:

1. Sebagai indikator litologi batuan.
2. Memetakan litologi dan persebarannya dengan cukup akurat.
3. Sebagai indikator porositas.
4. Identifikasi fasies seismik.

5. Pembentukan model geologi bawah permukaan dengan berdasarkan data seismik dengan data sumur sebagai pembatas.
6. Sebagai *Direct Hydrocarbon Indicator* (DHI)

Ada beberapa hal yang harus dipersiapkan untuk mendapatkan data seismik impedansi akustik, yaitu:

1. Data seismik yang dipakai harus diproses dengan menjaga keaslian amplitudonya (*preserved amplitude*)
2. Hasil interpretasi horison
3. Data log sumur, minimal data log sonik dan densitas, data *checkshot*
4. *Wavelet*

Data seismik pada umumnya hanya menggambarkan batas lapisan (*interface layer*), namun setelah dilakukan proses inversi impedansi akustik hasil yang didapat merepresentasikan data bawah permukaan yang sesungguhnya. Data impedansi akustik ini cukup akurat untuk menggambarkan lapisan baik secara vertikal maupun lateral.

### **3.7. *Wavelet***

*Wavelet* adalah gelombang harmonik yang mempunyai interval amplitudo, frekuensi, dan fasa tertentu (Sismanto, 2006). Berdasarkan konsentrasi energinya *wavelet* dapat dibagi menjadi 4 jenis yaitu:

#### **a. Zero Phase Wavelet**

*Wavelet* berfasa nol (*zero phase wavelet*) mempunyai konsentrasi energi maksimum di tengah dan waktu tunda nol, sehingga *wavelet*

ini mempunyai resolusi dan *standout* yang maksimum. *Wavelet* berfasa nol (disebut juga *wavelet* simetris) merupakan jenis *wavelet* yang lebih baik dari semua jenis *wavelet* yang mempunyai *spectrum amplitude* yang sama.

**b. *Minimum Phase Wavelet***

*Wavelet* berfasa minimum (*minimum phase wavelet*) memiliki energi yang terpusat pada bagian depan. Dibandingkan jenis *wavelet* yang lain dengan spektrum amplitudo yang sama, *wavelet* berfasa minimum mempunyai perubahan atau pergeseran fasa terkecil pada tiap-tiap frekuensi. Dalam terminasi waktu, *wavelet* berfasa minimum memiliki waktu tunda terkecil dari energinya.

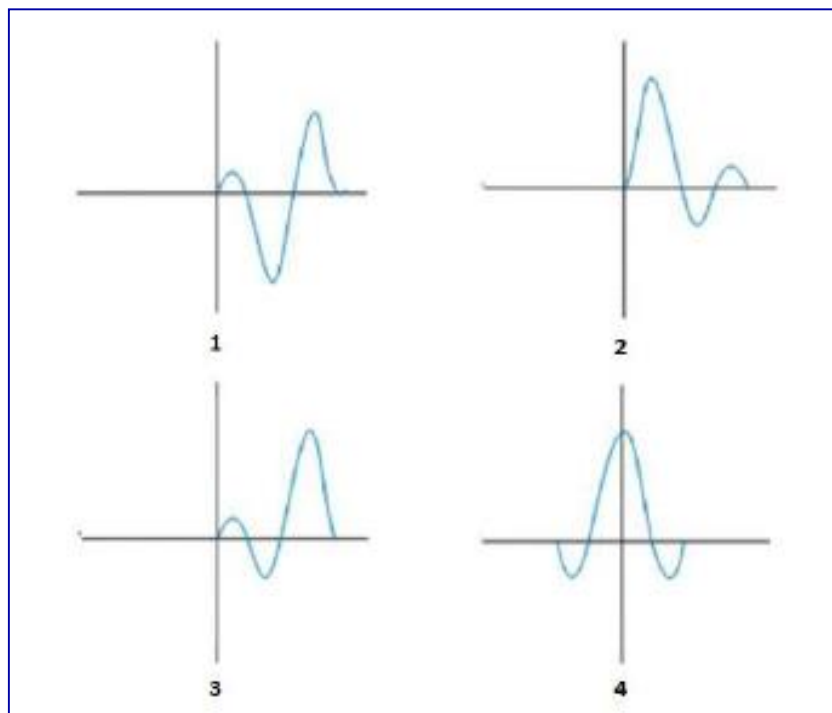
**c. *Maximum Phase Wavelet***

*Wavelet* berfasa maksimum (*maximum phase wavelet*) memiliki energi yang terpusat secara maksimal dibagian akhir dari *wavelet* tersebut, jadi merupakan kebalikan dari *wavelet* berfasa minimum.

**d. *Mixed Phase Wavelet***

*Wavelet* berfasa campuran (*mixed phase wavelet*) merupakan *wavelet* yang energinya tidak terkonsentrasi di bagian depan maupun di bagian belakang.

Pembagian jenis-jenis *wavelet* dapat dilihat pada **Gambar 6.** di bawah ini :



**Gambar 6.** Jenis-jenis *wavelet* berdasarkan konsentrasi energinya, yaitu *mixed phase wavelet* (1), *minimum phase wavelet* (2), *maximum phase wavelet* (3), dan *zero phase wavelet* (4) (Sismanto, 2006)

### 3.7.1. Ekstraksi Wavelet

Jenis dan tahapan dalam pembuatan (ekstraksi) *wavelet* adalah sebagai berikut :

#### a. Ekstraksi Wavelet Secara Teoritis

*Wavelet* ini dibuat sebagai *wavelet* awal untuk menghasilkan seismogram sintetis. Seismogram sintetis ini kemudian diikatkan dengan data seismik dengan bantuan *checkshot*. Apabila ternyata *checkshot* sumur itu tidak ada, maka korelasi dilakukan dengan cara memilih *event-event* target pada sintetis dan menggesernya pada posisi *event-event* data seismik (*shifting*).

Korelasi antara data seismogram sintetis dan data seismik ini akan mempengaruhi hasil pembuatan *wavelet* tahap selanjutnya. Korelasi yang dihasilkan dengan cara ini biasanya kurang bagus karena *wavelet* yang digunakan bukan *wavelet* dari data seismik.

***b. Ekstraksi Wavelet Secara Statistik dari Data Seismik***

Jenis ekstraksi *wavelet* selanjutnya adalah ekstraksi *wavelet* dari data seismik secara statistik. Ekstraksi dengan cara ini hanya menggunakan data seismik dengan masukan posisi serta *window* waktu target yang akan diekstrak. Untuk memperoleh korelasi yang lebih baik, maka dilakukan *shifting* pada *event-event* utama. Jika perlu dilakukan *stretch* dan *squeeze* pada data sintetis. Namun karena *stretch* dan *squeeze* sekaligus akan merubah data log, maka yang direkomendasikan hanya *shifting*. Biasanya, korelasi yang didapatkan dengan cara statistik dari data seismik akan lebih besar bila dibandingkan dengan *wavelet* teoritis.

***c. Ekstraksi Wavelet Secara Deterministik***

Ekstraksi *wavelet* dengan cara ini akan memberikan *wavelet* yang akan lebih mendekati *wavelet* sebenarnya dari data seismik. Ekstraksi ini dilakukan terhadap data seismik sekaligus dengan kontrol data sumur, sehingga akan memberikan *wavelet* dengan fasa yang tepat. Namun ekstraksi ini hanya akan memberikan hasil yang maksimal jika data sumur sudah terikat dengan baik. Ekstraksi *wavelet* secara statistik dan pengikatan yang baik sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil ekstraksi *wavelet* secara deterministik dengan kualitas yang baik. Untuk

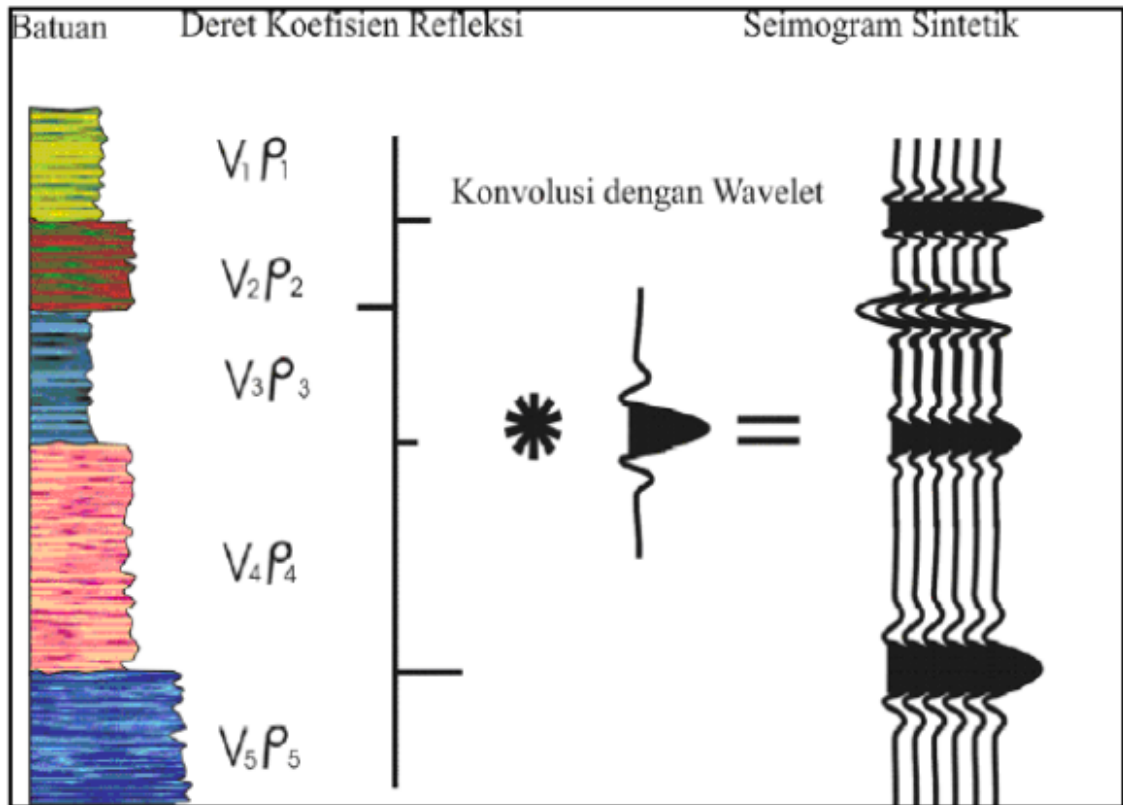
menghasilkan sintetik dengan korelasi optimal, maka dilakukan *shifting* dan bila diperlukan maka dapat dilakukan *stretch* dan *squeeze*, akan tetapi hal tersebut tidak dianjurkan

### 3.8. Seismogram Sintetik

Seismogram sintetik merupakan hasil konvolusi antara deret koefisien refleksi dengan suatu *wavelet*. Proses mendapatkan rekaman seismik ini merupakan sebuah proses pemodelan kedepan (*forward modeling*). Koefisien refleksi diperoleh dari perkalian antara kecepatan gelombang seismik dengan densitas batuan. Sedangkan *wavelet* diperoleh dengan melakukan pengekstrakan pada data seismik dengan atau tanpa menggunakan data sumur dan juga dengan *wavelet* buatan. Seismogram sintetik sangat penting karena merupakan sarana untuk mengidentifikasi horison seismik yang sesuai dengan geologi bawah permukaan yang diketahui dalam suatu sumur hidrokarbon (Munadi dan Pasaribu, 1984).

Identifikasi permukaan atau dasar lapisan formasi pada penampang seismik memungkinkan untuk ditelusuri kemenerusannya pada arah lateral dengan memanfaatkan data seismik. Konvolusi antara koefisien refleksi dengan *wavelet* seismik menghasilkan model *trace* seismik yang akan dibandingkan dengan data riil seismik dekat sumur. Seismogram sintetik dibuat untuk mengkorelasikan antara informasi sumur (litologi, kedalaman, dan sifat-sifat fisis lainnya) terhadap penampang seismik guna memperoleh informasi yang lebih lengkap dan komprehensif (Sismanto, 2006).



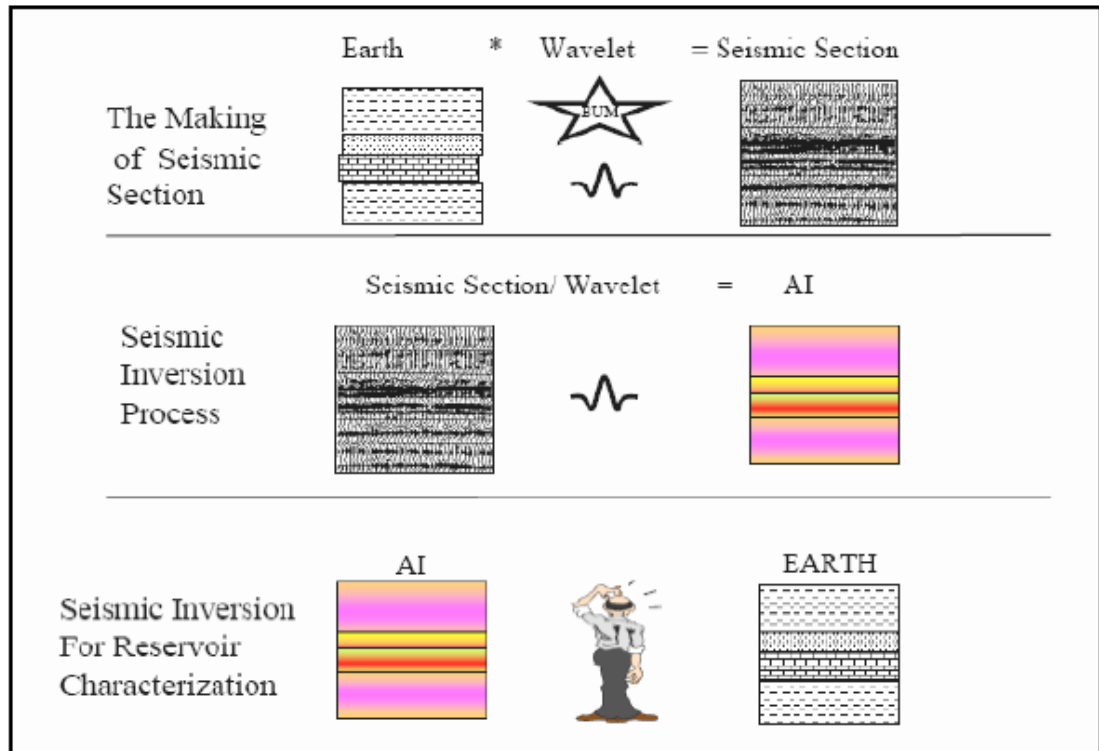


**Gambar 7.** Sintetik *seismogram* yang didapat dengan mengkonvolusikan koefisien refleksi dengan *wavelet* (Sukmono,1999)

### 3.9. Inversi Seismik

Inversi seismik didefinisikan sebagai suatu teknik pembuatan model bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono, 2000). Definisi tersebut menjelaskan bahwa metode inversi merupakan kebalikan dari pemodelan ke depan (*forward modeling*) yang berhubungan dengan pembuatan seismogram sintetik berdasarkan model bumi.

Prinsip inversi seismik dapat dilihat pada **Gambar 8.** di bawah ini :

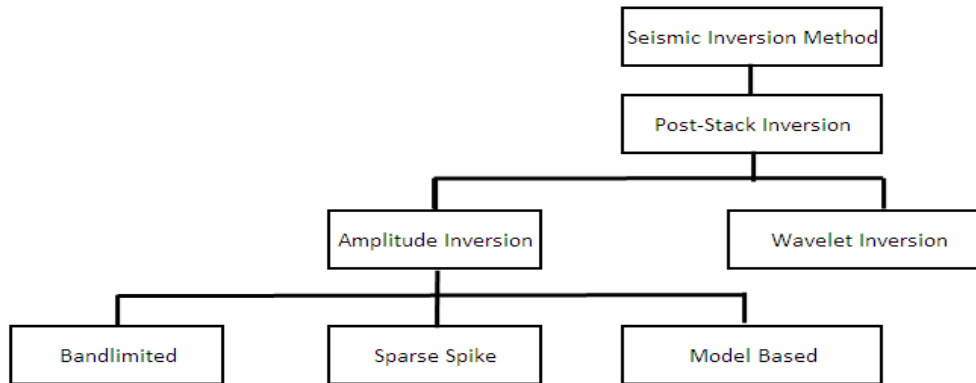


**Gambar 8.** Konsep dasar inversi seismik (Sukmono, 2000)

Proses utama yang dilakukan dalam metoda ini adalah dekonvolusi yang mengubah dari trace seismik menjadi reflektifitas. Walaupun setiap perangkat lunak memiliki langkah-langkah yang berbeda, terdapat kesamaan proses yang penting dalam seismik inversi seperti pengikatan data sumur dengan data seismik, estimasi *wavelet*, pemodelan geologi, dan proses inversinya sendiri.

Russel (1998) membagi metode seismik inversi dalam dua kelompok, yaitu inversi *pre-stack* dan inversi *post-stack*. Inversi *pre-stack* dapat digunakan untuk melihat pengaruh fluida yang dapat memberikan efek perubahan amplitudo terhadap *offset*. Sedangkan di bawah ini akan dibahas sedikit tentang beberapa inversi *post-stack* yaitu inversi rekursif, *sparse spike*, dan *model based*.

Untuk pembagian tipe-tipe teknik inversi sesimik dapat dilihat pada **Gambar 9.** seperti di bawah ini :



**Gambar 9.** Tipe-tipe teknik inversi seismik (Sukmono, 1999).

### 3.9.1. Inversi *bandlimited*

Inversi rekursif atau disebut dengan inversi *bandlimited* adalah algoritma inversi yang mengabaikan efek *wavelet* seismik dan memperlakukan seolah-olah trace seismik merupakan kumpulan koefisien refleksi yang telah difilter oleh *wavelet* fasa nol. Metoda ini paling awal digunakan untuk menginversi data seismik dengan persamaan dasar (Russel, 1996);

$$r_i = \frac{\rho_{i+1} V_{i+1} - \rho_i V_i}{\rho_{i+1} V_{i+1} + \rho_i V_i} = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (13)$$

Dengan,  $r$  adalah koefisien refleksi,  $\rho$  adalah densitas,  $V$  adalah kecepatan gelombang P, dan  $Z$  adalah Impedansi Akustik. Mulai dari lapisan pertama, impedansi lapisan berikutnya ditentukan secara rekursif dan tergantung nilai impedansi akustik lapisan di atasnya dengan perumusan sebagai berikut

$$Z_{i+1} = Z_i * \Pi \left[ \frac{1 + r_i}{1 - r_i} \right] \quad (14)$$

Keuntungan penggunaan Metoda Seismik Inversi Rekursif diantaranya sebagai berikut:

- a. Metoda ini menggunakan data seismik sebagai input, sehingga berdasarkan trace seismik dan menggunakan *wavelet* berfasa nol agar memberikan hasil yang baik.
- b. Metoda ini merupakan metoda yang sederhana dengan algoritma yang terbatas yang memberikan hasil berupa resolusi dengan bandwidth yang sama dengan data seismik.

Permasalahan yang terjadi pada inversi rekursif adalah sebagai berikut:

- a. Kehilangan komponen frekuensi rendah (efek *bandlimited*). Seismik inversi rekursif didasarkan pada dekonvolusi klasik yang mengasumsikan reflektivitas random dan *wavelet* dengan fasa minimum atau nol, akibatnya hanya dihasilkan *wavelet* berfrekuensi tinggi dan tidak mencakup deret koefisien refleksi secara lengkap.
- b. Sensitif terhadap *noise* akibat tanpa memperhitungkan bentuk *wavelet* dasar, sehingga dapat menghasilkan lapisan baru yang semu.

### 3.9.2. Inversi *Model Based*

Prinsip metode ini adalah membuat model geologi dan membandingkannya dengan data riil seismik. Hasil perbandingan tersebut digunakan secara iteratif memperbaharui model untuk menyesuaikan dengan data seismik. Metode ini dikembangkan untuk mengatasi masalah yang tidak dapat dipecahkan menggunakan metode rekursif.

**Keuntungan penggunaan metoda inversi berbasis model antara lain:**

- a. Metoda ini tidak menginversi langsung dari seismik melainkan menginvesi model geologinya.
- b. Hasil keluaran inversi merupakan bentuk model yang dapat sesuai dengan data input.
- c. Nilai kesalahan terdistribusi dalam solusi dari proses inversi.
- d. Efek multipel dan adanya atenuasi dapat ditampilkan dalam model.

**Kekurangan menggunakan metoda inversi berbasis model adalah:**

- a. Sifat sensitif terhadap bentuk *wavelet*, dimana dua *wavelet* berbeda dapat menghasilkan *trace* seismik yang sama.
- b. Sifat ketidak-unikan untuk *wavelet* tertentu dimana semua hasil sesuai dengan *trace* seismik pada lokasi sumur yang sama.

### 3.9.3. Inversi *Sparse-Spike*

Metoda inversi *sparse-spike* mengasumsikan bahwa reflektivitas suatu model dianggap sebagai rangkaian spike yang jarang dan tinggi ditambahkan deret spike kecil dan kemudian dilakukan estimasi *wavelet* berdasarkan asumsi model tersebut. Inversi *sparse-spike* menggunakan parameter yang sama seperti inversi berbasis model dengan konstrain. Input parameter tambahan pada metoda ini adalah menentukan jumlah maksimum *spike* yang akan dideteksi pada tiap *trace* seismik dan treshold pendeteksian *spike*. Setiap penambahan *spike* baru yang lebih kecil dari spike sebelumnya akan memodelkan trace lebih akurat lagi.

#### **Keuntungan penggunaan metoda Inversi *Sparse-spike*:**

- a. Data yang digunakan dalam perhitungan, sama seperti pada proses inversi rekursif.
- b. Dapat menghasilkan inversi secara geologi.
- c. Informasi frekuensi rendah termasuk dalam solusi secara matematis.

#### **Kekurangan metoda Inversi *Sparse-Spike* antara lain:**

- a. Hasil akhir inversi ini kurang detail.
- b. Hanya komponen “*blocky*” saja yang terinversikan.
- c. Secara statistik, subyek metoda inversi jenis ini digunakan untuk data yang mempunyai masalah *noise*.

### 3.10. *Well Logging*

Log adalah suatu grafik dalam satuan kedalaman atau waktu dari satu set kurva yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan di dalam sebuah sumur (Harsono, 1997). Untuk mengukur sifat-sifat fisik batuan di dalam sumur kita menurunkan alat pengukurnya yang disebut sonde atau log. Masing-masing log mengukur sifat-sifat tertentu dari batuan sekitarnya dan memiliki karakteristik masing-masing.

Ada 4 (empat) jenis log yang sering digunakan dalam interpretasi yaitu:

1. Log listrik, terdiri dari log resistivitas (mengukur tahanan jenis) dan log SP (*Spontaneous Potential*).
2. Log Radioaktif, terdiri dari log GR (*Gamma Ray*) dan Log Porositas terdiri dari log densitas (RHOB) dan log *neutron* (NPHI).
3. Log Akustik berupa log *sonic* (mengukur *interval transit time*).
4. Log Mekanik berupa log *caliper*.

#### 3.10.1. Log Resistivitas

Log resistivitas atau tahanan jenis adalah kemampuan bahan untuk melewatkan arus listrik yang mengalir padanya. Bila bahan tersebut mudah mengalirkan arus listrik maka resistivitasnya rendah dan jika bahan tersebut sukar dialiri arus listrik maka resistivitasnya tinggi. Kegunaan utama dari log resistivitas adalah untuk mengukur resistivitas dari formasi batuan. Suatu formasi yang mengandung *sally water* (air asin), maka respon resistivitasnya akan rendah, berbeda dengan formasi yang sama

namun yang terkandung adalah hidrokarbon, maka akan memberikan respon yang tinggi. Secara umum log resistivitas ini dapat digunakan dalam beberapa analisis diantaranya analisis saturasi fluida, lithologi, dan lain-lain.

### **3.10.2 Log SP (*Spontaneous Potential*)**

Log SP adalah metode pengukuran perekaman mengenai perbedaan potensial antara pergerakan elektroda dalam lubang bor dengan elektroda yang ditempatkan di permukaan. Log SP digunakan untuk menentukan indikator lithologi, Penentuan batas lapisan, Estimasi ketebalan lapisan dan lain-lain. SP tidak dapat direkam di dalam lubang sumur yang diisi oleh lumpur yang tak konduktif karena diperlukan medium yang dapat menghantarkan arus listrik antara elektroda alat dan formasi. Jika filtrasi lumpur dan kadar garam air formasi (resistivitas) hampir sama, penyimpangan SP akan kecil dan kurva SP menjadi kurang berguna.

### **3.10.3. Log Sinar Gamma (*Gamma Ray*)**

Nilai kurva Log Gamma Ray tergantung dari banyaknya nilai radioaktif yang terkandung dalam suatu formasi batuan. Pada batuan sedimen, batuan yang banyak mengandung unsur radioaktif (K, Th, U) adalah serpih dan lempung. Oleh karena itu, besarnya nilai kurva tergantung dari banyaknya kandungan serpih atau lempung pada batuan. Log GR dinyatakan dalam satuan API (GAPI). Log *gamma ray* berguna untuk mendefinisikan lapisan



permeabel disaat SP tidak berfungsi, penentuan lithologi, estimasi batas lapisan, korelasi antar sumur dan lain-lainnya.

#### **3.10.4. Log Densitas**

Prinsip kerja log ini adalah memancarkan sinar gamma energi menengah kedalam suatu formasi sehingga akan bertumbukan dengan elektron-elektron yang ada. Tumbukan tersebut akan menyebabkan hilangnya energi sinar gamma yang kemudian dipantulkan dan diterima oleh detektor yang akan diteruskan untuk direkan ke permukaan. Hal ini mencerminkan fungsi dari harga rata-rata kerapatan batuan.

Kegunaan dari Log Densitas yang lain adalah menentukan harga porositas batuan, mendeteksi adanya gas, menentukan densitas batuan dan hidrokarbon serta bersama-sama log neutron dapat digunakan untuk menentukan kandungan lempung dan jenis fluida batuan.

#### **3.10.5. Log *Neutron Porosity***

Tingkat konsentrasi Hidrogen di setiap formasi berbeda (disebut dengan *Hydrogen Index=HI*), dan berdasarkan hal ini neutron log bekerja. Neutron log dapat dijadikan indikator porositas, pada limestone, *neutron porosity* merupakan porositas sesungguhnya pada batuan ini, tapi pada batuan yang lain diperlukan faktor konversi tersendiri (Rider, 1996).

### 3.10.6. Log Sonik

Log Sonik adalah log yang bekerja berdasarkan kecepatan rambat gelombang suara. Gelombang suara yang dipancarkan kedalam suatu formasi kemudian akan dipantulkan kembali dan diterima oleh penerima. Waktu yang dibutuhkan gelombang suara untuk sampai ke penerima disebut *interval transit time*. Besarnya selisih waktu tersebut tergantung pada jenis batuan dan besarnya porositas batuan sehingga log ini bertujuan untuk mengetahui porositas suatu batuan dan selain itu juga dapat digunakan untuk membantu interpretasi data seismik, terutama untuk mengkalibrasi kedalaman formasi. Log ini bertujuan untuk menentukan jenis batuan terutama evaporit. Pada batuan yang sarang maka kerapatannya lebih kecil sehingga kurva log sonik akan mempunyai harga besar seperti pada serpih organik atau lignit. Apabila batuan mempunyai kerapatan yang besar, maka kurva log sonik akan berharga kecil seperti pada batugamping.