

BAB II

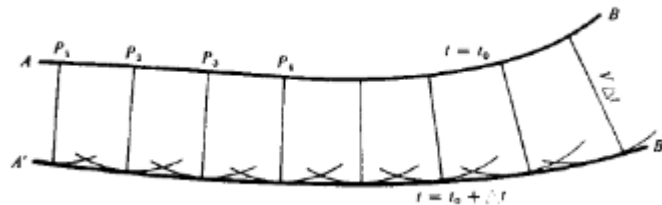
TEORI DASAR

2.1 Metode Seismik

Metode seismik merupakan salah satu metode geofisika aktif untuk mengidentifikasikan keadaan bawah permukaan menggunakan prinsip perambatan gelombang. Gelombang seismik dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang badan adalah gelombang yang terjadi di dalam bumi yang dibedakan menjadi 2, yaitu gelombang P dan gelombang S. Gelombang kompresional (gelombang P) menginduksi perpindahan partikel batuan atau air yang sejajar dengan arah rambat gelombang dan juga disebut sebagai gelombang longitudinal, gelombang tekanan atau gelombang P. Sedangkan gelombang S adalah gelombang yang arah getarannya tegak lurus dengan arah perambatan gelombang.

2.1.1. Prinsip Penjalaran Gelombang Seismik

Prinsip Huygen menyatakan bahwa setiap titik pada muka gelombang akan menjadi sumber baru gelombang yang juga menyebar menjauhi titik sumber baru.



Gambar 2.1 Prinsip Huygen untuk menemukan muka gelombang baru [3].

AB adalah muka gelombang pada saat t_0 dan kita mengharapkan menemukan muka gelombang berikutnya pada waktu $(t_0 + \Delta t)$. Selama interval Δt , jarak gelombang akan bertambah sejauh $V\Delta t$ dimana V adalah kecepatan gelombang. Garis yang menghubungkan tiap muka gelombang $A'B'$ didefinisikan sebagai posisi muka gelombang baru saat $(t_0 + \Delta t)$.

Hukum Snellius menggambarkan perubahan arah bagian fermat yang mengenai permukaan yang memisahkan media dengan kecepatan yang berbeda. Gelombang tersebut sebagian terefleksikan kembali ke permukaan dan sebagian diteruskan merambat dibawah permukaan. Yang dijelaskan oleh persamaan berikut:

dengan:

v_t = kecepatan gelombang pada medium t.



Gambar 2.2. menggambarkan jika sebuah gelombang menjalar kemudian melalui batas perlapisan batuan maka akan terjadi empat gelombang yang berbeda, yaitu gelombang P refleksi P_1 , gelombang P refraksi P_2 , gelombang S refleksi S_1 , dan gelombang S refraksi S_2 .

2.2 Komponen Seismik Refleksi

2.2.1 Impedansi Akustik

Impedansi akustik merupakan perkalian antara kecepatan penjalaran gelombang dalam suatu medium dengan densitas. Impedansi akustik juga dapat diperoleh dengan mengalikan *log sonic* dengan *log densitas*. Impedansi akustik yang merupakan turunan dari data seismik disebut impedansi akustik semu (*pseudo acoustic impedance*). Impedansi akustik merupakan properti fisika yang perubahannya menentukan koefisien refleksi [4]. Secara matematis impedansi akustik dapat ditulis sebagai berikut:

$$IA = V \rho \quad (2.2)$$

dimana:

IA = impedansi akustik (ft/s. g/cc)

V = kecepatan penjalaran gelombang (ft/s)

ρ = densitas (g/cc)

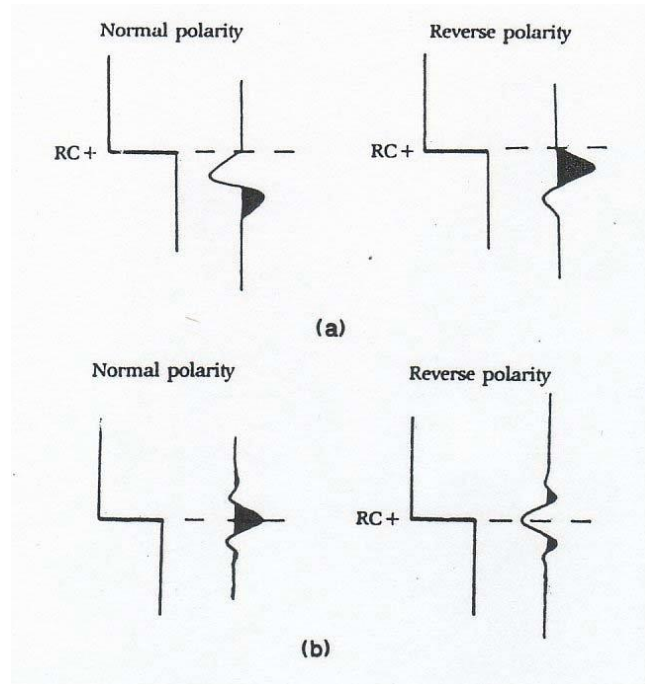
2.2.2 Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi merupakan rasio amplitudo perpindahan gelombang yang dipantulkan dengan gelombang yang datang [4]. Jika dua lapisan memiliki kecepatan yang berbeda, umumnya densitasnya juga berbeda, dan sebagian dari energi akustik tidak dibiaskan tetapi dipantulkan. Banyaknya energi yang dipantulkan tergantung pada perbedaan impedansi yang merupakan produk dari kecepatan gelombang P atau gelombang S dan densitas. Koefisien refleksi (R) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} \quad (2.3)$$

Dimana ρ_1 dan ρ_2 merupakan densitas dari lapisan atas dan lapisan bawah, V_1 dan V_2 adalah kecepatan masing-masing gelombang, $\rho_1 V_1$ dan $\rho_2 V_2$ masing-masing adalah impedansi akustik dari lapisan atas dan lapisan bawah.

2.2.3 Polaritas

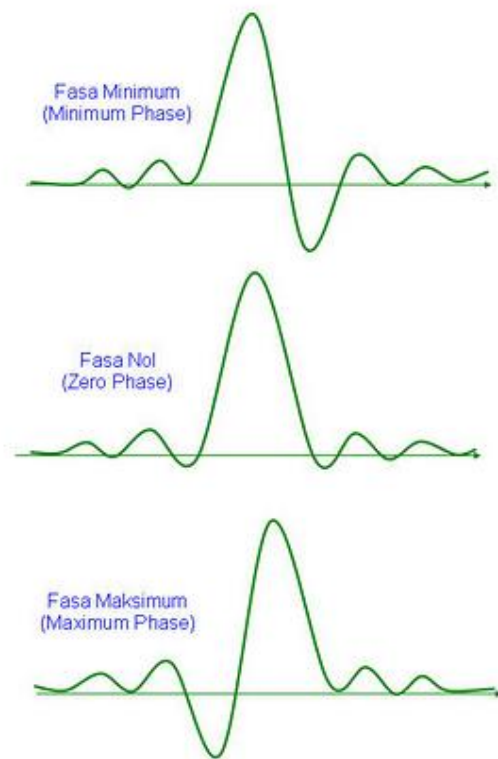


Gambar 2.3 Polarity SEG [3]

Konvensi polaritas SEG standar untuk *wavelet* fasa minimum adalah bahwa, untuk refleksi positif (refleksi dari antarmuka di mana impedansi akustik meningkat), bentuk gelombang dimulai dengan *downkick*, diwakili oleh bilangan negatif; ini memiliki dasar historis dan hampir secara universal disetujui. Untuk refleksi positif fase-nol, titik pusat simetri *wavelet* adalah puncak yang diwakili oleh bilangan positif yang minoritas gunakan pada kebalikannya[3]. Display kadang-kadang menunjukkan kebalikan dari yang sebelumnya (seg polar negatif atau polaritas terbalik).

2.2.4 Fasa

Fasa adalah suatu peristiwa pada seismogram yang menandai kedatangan sekelompok gelombang baru, yang ditunjukkan oleh perubahan periode atau amplitudo, atau keduanya. Sebuah *wavelet* memiliki panjang yang terbatas dengan fasa tertentu. Dalam istilah eksplorasi seismik, fasa sebuah *wavelet* dikenal dengan fasa minimum, fasa nol, dan fasa maksimum.



Gambar 2.4 Fasa dalam *wavelet*

2.2.5 Resolusi vertikal Seismik

Resolusi adalah jarak minimum antara dua objek yang dapat dipisahkan gelombang seismik. *Range* frekuensi dari gelombang seismik hanya antara 10-70 Hz. Nilai dari resolusi vertikal adalah

$$rv = \frac{v \cdot f}{4} \quad (2.4)$$

dimana:

rv = resolusi vertikal (m)

v = kecepatan gelombang seismik (m/s)

f = frekuensi dari data seismik (Hz)

dari persamaan diatas hanya batuan dengan ketebalan diatas $\frac{1}{4} \lambda$ yang dapat dibedakan oleh gelombang seismik. Ketebalan ini disebut *tuning* (*tuning thickness*). Dengan bertambahnya kedalaman, kecepatan bertambah tinggi dan frekuensi bertambah kecil, maka ketebalan *tuning* bertambah besar.

2.2.6 Wavelet

Wavelet adalah gelombang mini yang memiliki komponen amplitudo, panjang gelombang, frekuensi dan fasa [5]. Dalam istilah praktis *wavelet* dikenal dengan gelombang yang merepresentasikan satu reflektor yang terekam oleh satu *geophone*. Ada empat jenis *wavelet* yang umum diketahui, yaitu *zero phase*, *minimum phase*, *maximum phase*, dan *mixed phase*.

2.2.7 Seismogram sintetik

Seismogram sintetik mewakili respon seismik terhadap perambatan vertikal dari *wavelet* yang diasumsikan melalui model bawah permukaan yang terdiri dari lapisan-lapisan horizontal dengan impedansi akustik yang berbeda. Setiap batas lapisan memantulkan kembali sebagian energi ke permukaan, amplitudo, dan polaritas pantulan ditentukan oleh kontras impedansi akustik. Secara sederhana, seismogram sintetik dapat dianggap sebagai konvolusi fungsi sumber dengan fungsi reflektifitas yang mewakili kontras impedansi akustik pada model berlapis:

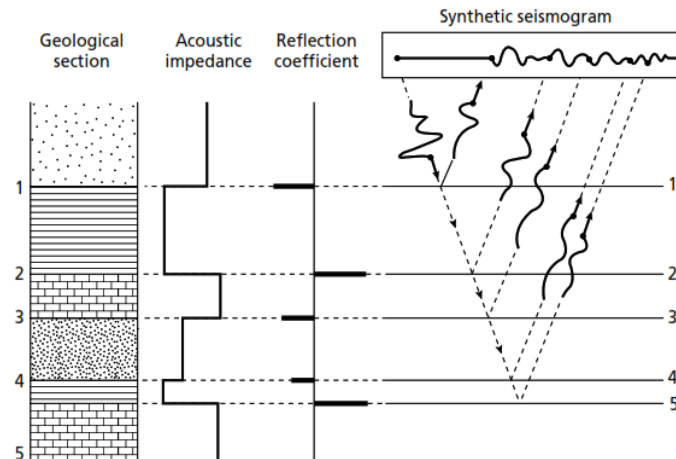
$$x(t) = s(t) * r(t) \quad (2.5)$$

dimana:

$x(t)$ = seismogram sintetik

$s(t)$ = *wavelet*

$r(t)$ = koefisien refleksi



Gambar 2.5 Seismogram Sintetik

2.3 Log

Log adalah suatu grafik kedalaman dari satu set kurva yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan pada sebuah sumur[6]. Kurva log memberikan informasi yang cukup tentang sifat-sifat batuan dan cairan. Jenis log yang biasa digunakan diantaranya yaitu log *gamma ray*, log sonik, log *neutron porosity*, log *density*, log *resistivity*, dan lain-lain.

2.3.1 Log Gamma Ray

Prinsip dari *gamma ray* adalah perekaman radioaktivitas alami bumi. Unsur radioaktif yang terdapat pada batuan yaitu uranium, torium, dan potasium. Log *gamma ray* memiliki satuan skala API. Rentang nilai satuan API memiliki rentang tertinggi hingga 200 API. Unsur radioaktif umumnya banyak terdapat dalam serpih dan sedikit sekali dalam batu pasir, sehingga akan memberikan respon *gamma ray* yang rendah. Sedangkan pada *shale* akan memberikan respon *gamma ray* yang tinggi karena memiliki kandungan serpih yang banyak.

2.3.2 Log Sonik

Log sonik mengukur kelajuan gelombang suara yang dipantulkan kembali dan diskalakan menurut besaran waktu-transit. *Transit time* adalah waktu yang diperlukan gelombang suara untuk sampai ke penerima disebut.

2.3.3 Log Neutron Porosity

Log *neutron porosity* tidak mengukur porositas sesungguhnya dari batuan, tetapi kandungan hidrogen yang terdapat pada pori-pori batuan. Indeks hidrogen merupakan rasio dari konsentrasi atom hidrogen setiap sentimeter kubik batuan terhadap kandungan air murni. Dari kandungan hidrogen yang terbaca dapat menunjukkan hubungan antara pori batuan dengan kandungan hidrogennya. Semakin berpori suatu batuan, maka semakin banyak kandungan hidrogen di dalamnya.

2.3.4 Log Densitas

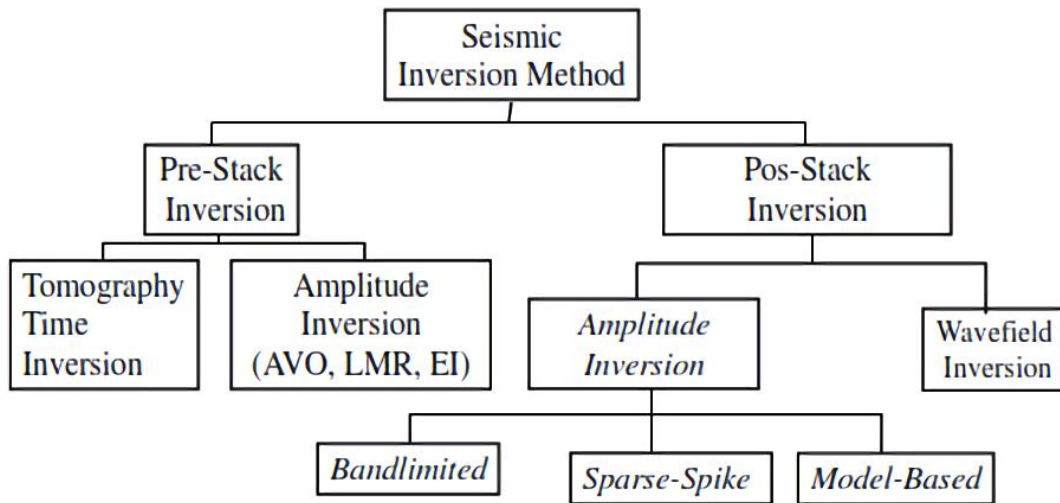
Pada log densitas, densitas yang diukur adalah densitas dari keseluruhan matriks batuan dan fluida yang terdapat pada pori. Prinsip log densitas adalah dengan mengemisikan sumber radioaktif. Semakin padat batuan, maka akan semakin sulit sinar radioaktif tersebut teremisi dan semakin sedikit emisi yang diterima.

2.3.5 Log Resistivity

Resistivity dari sebuah formasi adalah parameter utama yang diperlukan untuk menentukan saturasi hidrokarbon. Log *resistivity* mengukur kemampuan batuan untuk melawan aliran arus listrik. Respon dari log *resistivity* akan menunjukkan nilai resistivitas yang tinggi pada daerah yang terisi hidrokarbon, dan zona yang terisi air ditunjukkan dengan nilai resistivitas yang rendah karena air bersifat konduktif dan minyak bersifat resistif.

2.4 Inversi Seismik

Inversi seismik adalah suatu teknik pembuatan model geologi bawah permukaan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol [7]. Algoritma dari pemodelan inversi akan menghasilkan penampang AI yang merupakan dekonvolusi antara rekaman seismik dan gelombang seismik. Penampang AI mengandung informasi yang lebih banyak daripada data seismik.



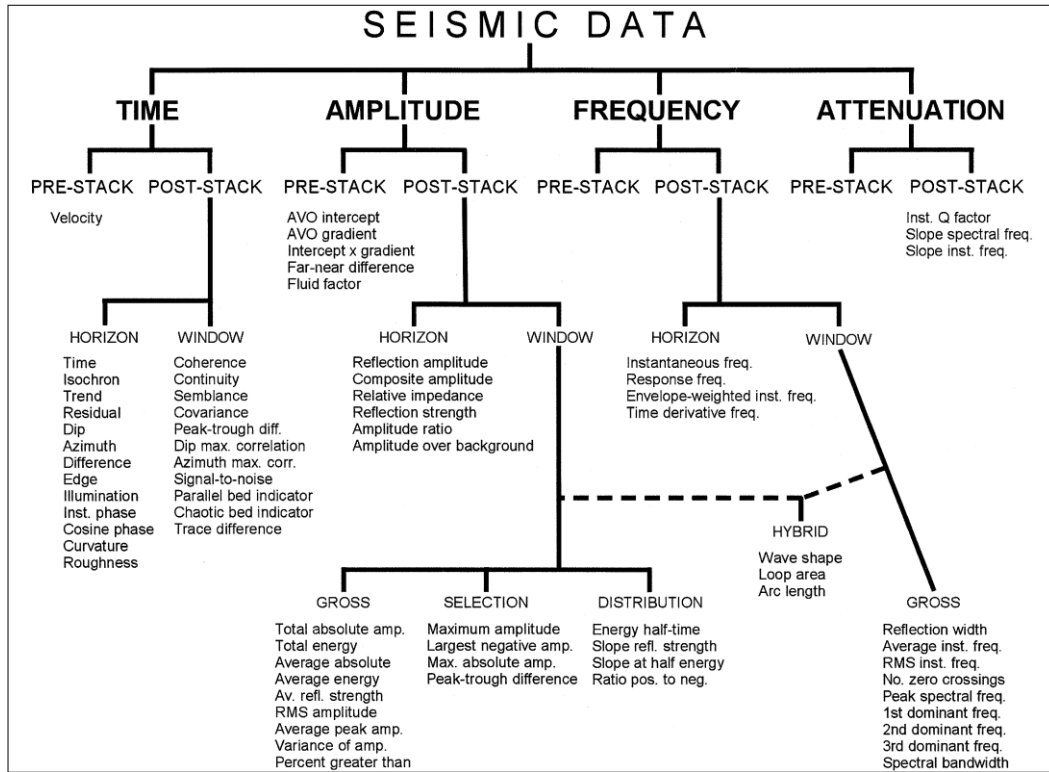
Gambar 2.6 Jenis Teknik Inversi Seismik [7]

Metode inversi seismik terbagi menjadi dua kategori *pre-stack inversion* dan *post-stack inversion*. Inversi *post-stack* terdiri dari inversi amplitudo dan inversi medan gelombang. Pada penelitian ini akan dibahas inversi amplitudo. Inversi amplitudo terbagi atas 3 jenis, *band limited*, *sparse-spike*, dan *model based*.

2.4.1 Inversi *Model Based*

Hasil dari metode inversi rekursif dipengaruhi oleh *noise*, *amplitude recovery* yang buruk, dan *band limited* data seismik. Untuk mengatasi masalah tersebut, dikembangkan teknik inversi berbasis model. Metode inversi *model based* membuat model geologi terlebih dahulu lalu membandingkan model tersebut dengan data riil seismik. Hasil perbandingan digunakan untuk memperbaiki model secara iteratif supaya hasilnya lebih cocok dengan data seismik.

2.5 Atribut Seismik



Gambar 2.7 Klasifikasi atribut seismik menurut [8]

Atribut seismik adalah ukuran kuantitatif dari karakteristik data seismik. Analisis atribut seismik berkaitan dengan pengukuran waktu, amplitudo, frekuensi, dan atenuasi. [8] Mengklasifikasikan atribut waktu, amplitudo, frekuensi, dan atenuasi sebagai cabang utama yang selanjutnya bercabang menjadi kategori *poststack* and *prestack*. Umumnya pengukuran berbasis waktu berhubungan dengan struktur, amplitudo, dan frekuensi berhubungan dengan stratigrafi dan karakterisasi reservoir. Atribut amplitudo merupakan yang paling kuat dan berguna, tetapi atribut frekuensi dapat membantu menunjukkan lapisan geologi tambahan.

2.6 Multiatribut

Analisis seismik multiatribut mencakup semua metode geostatistik yang menggunakan lebih dari satu atribut untuk memprediksi properti fisik bumi [9]. Penggunaan beberapa atribut seismik untuk memprediksi properti log dilakukan dengan mencari hubungan fisik antara parameter yang akan dipetakan dan beberapa

atribut dari data seismik, kemudian menggunakan atribut tunggal tersebut untuk memprediksi parameter reservoir.

Atribut seismik menurut Chen pada [10] dapat dibagi menjadi dua kategori:

1. Atribut berbasis horizon merupakan sifat rata rata seismik antara dua batas, umumnya ditentukan oleh horizon yang dipilih.
2. Atribut berbasis sampel merupakan transformasi dari *trace input* menghasilkan *trace output* dengan jumlah masukan yang sama (nilai ini adalah jumlah sampel yang dihitung per sampel).

2.6.1. Analisis *Linear Multi-regression*

Dengan adanya atribut seismik tertentu, prosedur paling sederhana untuk memperoleh hubungan antara target dan atribut seismik dengan melakukan *crossplot* keduanya. Sebuah garis lurus dapat disesuaikan dengan regresi dan digunakan untuk prediksi. Log target dimodelkan dengan persamaan linear:

$$L(t) = W_0 + W_1A_1(t) + W_2A_2(t) + W_3A_3(t) \quad (2.6)$$

dimana:

$L(t)$ = log target yang akan diprediksi

W = nilai bobot

A = atribut seismik

bobot dalam persamaan (2.6) dapat diturunkan dengan meminimalkan kesalahan prediksi *mean-squared*

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (L_i - W_0 - W_1A_{1i} - W_2A_{2i} - W_3A_{3i})^2 \quad (2.7)$$

solusi untuk bobot menghasilkan persamaan normal standar:

$$\begin{bmatrix} W_0 \\ W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \sum A_{1i} & \sum A_{2i} & \sum A_{3i} \\ \sum A_{1i} & \sum A_{1i}^2 & \sum A_{1i} A_{2i} & \sum A_{1i} A_{3i} \\ \sum A_{2i} & \sum A_{1i} A_{2i} & \sum A_{2i}^2 & \sum A_{2i} A_{3i} \\ \sum A_{3i} & \sum A_{1i} A_{3i} & \sum A_{2i} A_{3i} & \sum A_{3i}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum L_{3i} \\ \sum A_{1i} L_i \\ \sum A_{2i} L_i \\ \sum A_{3i} L_i \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

2.6.2. Menentukan atribut dengan *Step-wise Regression*

Step-wise Regression atau regresi bertahap merupakan metode analisis multiatribut seismik yang menggunakan beberapa atribut seismik. Metode ini secara bertahap menemukan kombinasi atribut seismik yang memiliki korelasi tinggi dengan target. Langkah pertama adalah memilih atribut tunggal yang paling relevan dengan tujuan. Selain itu, satu atribut akan mencari pasangan dengan atribut lain untuk memperoleh korelasi yang lebih tinggi. Pengulangan operasi dilakukan untuk mendapatkan kombinasi terbaik dari beberapa atribut dengan kesalahan prediksi terendah.

2.7 Dekomposisi Spektral

Data seismik yang bersifat non-stasioner memiliki kandungan frekuensi yang bervariasi dalam waktu. Dekomposisi frekuensi waktu (dekomposisi spektral) dari sinyal seismik bertujuan untuk mengkarakterisasi respons frekuensi yang bergantung pada waktu dari batuan dan reservoir bawah permukaan. Dekomposisi spektral menggunakan *short window* untuk mentransformasi fourier dan menampilkan spektrum frekuensi [4].

Metode *short time fourier transform* digunakan untuk menghasilkan spektrum frekuensi pada jendela waktu yang dipilih. Pada STFT resolusi frekuensi waktu ditetapkan di seluruh ruang frekuensi waktu dengan memilih terlebih dahulu panjang *window*. Sehingga resolusi pada analisis data seismik tergantung panjang *window* dan ditentukan.

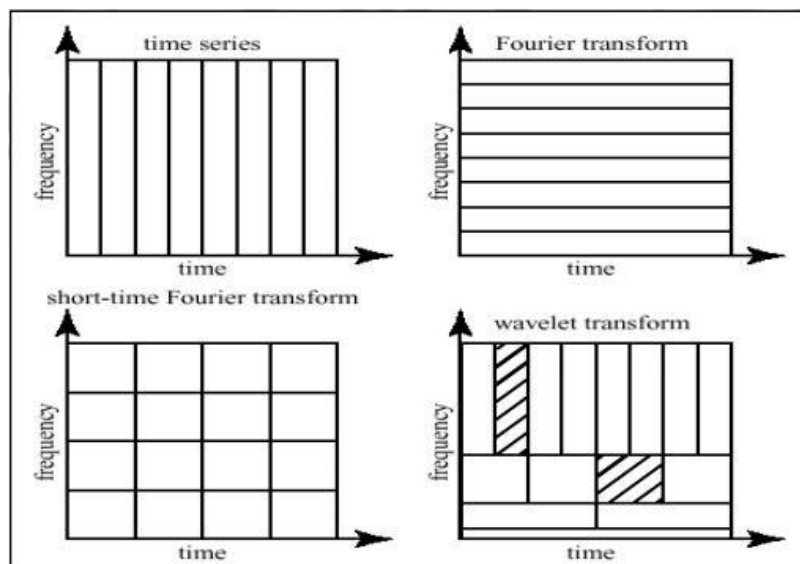
2.6.1. Transformasi Fourier

Transformasi fourier merupakan dasar dari pemrosesan sinyal digital pada data seismik. Sebuah *trace* seismik mewakili medan gelombang seismik yang terekam oleh *receiver*. Bentuk digital dari *trace* seismik adalah deret waktu yang sepenuhnya dapat digambarkan sebagai jumlah diskrit dari sejumlah sinusoidal. Analisis *trace* seismik ke komponen sinusoidal dilakukan dengan *forward fourier transform*. Sebaliknya, *trace* seismik sintetik dari komponen sinusoidal dilakukan dengan *inverse fourier transform*.

Algoritma pemrosesan data seismik sering kali dapat dideskripsikan lebih sederhana dalam domain frekuensi daripada dalam domain waktu. Transformasi fourier digunakan untuk mentransformasi suatu sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi.

2.6.2. Continuous Wavelet Transform (CWT)

Transformasi *wavelet* kontinu adalah metode transformasi untuk menganalisis frekuensi dari sinyal secara otomatis berdasarkan skala waktu (*Time-frequency*). Pada dasarnya transformasi *wavelet* kontinu akan menguraikan sinyal dengan *wavelet*. Perbedaan Transformasi dalam *Short Time Fourier Transform* dan *wavelet transform* ditunjukkan pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.8 Perbedaan dari beberapa transformasi sinyal non-stationer

Dalam implementasinya, *wavelet* akan mengalami proses pelebaran dengan parameter skala “s” dan diterjemahkan oleh “u”. *Wavelet* akan membesar sedemikian rupa sehingga waktu mendukung perubahan untuk frekuensi yang berbeda. Ketika dukungan waktu lebih kecil akan meningkatkan dukungan frekuensi, frekuensi akan menjadi lebih tinggi. Begitu juga dengan dukungan waktu yang lebih besar akan mengurangi dukungan frekuensinya, frekuensi akan menjadi lebih rendah. Jadi, ketika resolusi waktu meningkat, resolusi frekuensi menurun, dan sebaliknya [11].

Wavelet dibuat dari *mother wavelet* ψ dengan rata-rata nol dapat dituliskan sebagai:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (2.14)$$

dimana dilebarkan dengan parameter skala “s” dan diterjemahkan oleh “u”

$$D = \left\{ \psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \right\}_{u \in \mathbb{R}, s > 0} \quad (2.15)$$

Transformasi *wavelet* kontinu sebuah fungsi pada skala “s” dan posisi “u” adalah:

$$Wf(u, s) = \langle f, \psi_{u,s} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi^*\left(\frac{t-u}{s}\right) dt = 0 \quad (2.16)$$

dimana ψ^* adalah konjugasi kompleks dari ψ dan $Wf(u, s)$ adalah peta skala waktu.

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} Wf(u, s) \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \frac{ds du}{s^2 \sqrt{s}} \quad (2.17)$$

dengan

$$C_\psi = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (2.18)$$

dimana $\hat{\psi}(\omega)$ adalah transformasi fourier dari $\psi(t)$ dan C_ψ adalah konstanta untuk *wavelet* ψ .