

Agus Abdullah

ENSIKLOPEDI SEISMIC

Part 1: Basic Seismic Processing



ENSIKLOPEDI SEISMIK

Part 1: Basic Seismic Processing

Agus Abdullah

Edisi Pertama, 2025

Penerbit Universitas Pertamina

Ensiklopedi Seismik

Part 1: Basic Seismic Processing

Penulis:

Agus Abdullah

Editor:

Iktri Madrinovella, Waskito Pranowo, Uha Juliaha

ISBN:

Penerbit: Universitas Pertamina

Cetakan Pertama, 2025

Edisi Pertama, 2025



Hak Cipta © 2023 Universitas Pertamina

Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug,

Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12220

Telepon : 021-29044308

Website : <https://universitaspertamina.ac.id/>

Email : info@universitaspertamina.ac.id

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk tidak terbatas pada memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

UNDANG-UNDANG NO.28 TAHUN 2014 TENTANG HAK CIPTA

1.	Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta yang meliputi penerjemahan dan pengadaptasian Ciptaan untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2.	Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta yang meliputi penerbitan, penggandaan dalam segala bentuknya, dan pendistribusian Ciptaan untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan
3.	pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah). Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada poin kedua di atas yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah)

Abdullah, Agus

Ensiklopedia Seismik Part 1

Jakarta : Penerbit Universitas Pertamina, 2025

1 jil., 187 hlm., 17,6 x 25 cm

ISBN.

1. Seismik

2. Teknik Geofisika

I. Judul

550

KATA PENGANTAR

Ensiklopedi Seismik merupakan susunan materi seputar metode seismik yang sebelumnya ditulis melalui blog personal sejak tahun 2008. Penulis memiliki harapan agar penjelasan pada blog dapat menjadi manfaat bagi penggiat seismik baik mahasiswa maupun praktisi profesional di bidangnya. Pelajaran yang diambil dari berbagai referensi dan dituangkan ke dalam penjelasan yang mudah dipahami, diharapkan dapat menambah wawasan sebagai acuan dalam aplikasi di dunia industri, pendidikan dan penelitian. Buku ini diproyeksikan akan terdiri atas beberapa bagian, dengan bagian pertama merupakan dasar-dasar mengenai pengolahan data seismik, dengan pendahuluan tentang akuisisi data seismik dan pengolahan sinyal. Bagian berikutnya akan membahas tentang pengolahan data seismik lanjut serta aplikasinya menggunakan bahasa pemrograman.

Setiap material, baik tulisan, persamaan matematika dan gambar yang tertera pada buku ini ditujukan untuk keperluan pendidikan semata. Ensiklopedi seismik adalah setitik bakti dari anak negeri, untuk anak negeri demi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di negara kita.

Jakarta, Mei 2025

Penulis

DAFTAR ISI

BAB I. Konsep Dasar Gelombang Seismik	3
1.1. Tipe Gelombang Seismik.....	3
1.2. Gelombang Kompresi (P wave)	4
1.3. Gelombang Geser (S wave).....	6
1.4. Gelombang Rayleigh (Groundroll)	7
1.5. Gelombang Love (Love Wave).....	8
1.6. Komponen Gelombang	9
1.7. Frekuensi Gelombang Seismik	10
1.8. Prinsip Fermat (Fermat's Principle)	11
1.9. Prinsip Huygens (Huygens Principle).....	12
1.10. Converted Waves	13
1.11. Difraksi (Diffraction)	16
1.12. Zona Fresnel (Fresnel Zone)	17
1.13. Wavelet.....	18
1.14. Rekaman Seismik (Seismic Record).....	19
1.15. Noise dan Data.....	20
1.16. Reflektivitas (Reflectivity).....	21
1.17. Resolusi Seismik.....	22
1.18. Polaritas Normal & Reverse.....	24
1.19. Tras Seismik (Seismic Trace).....	25
1.20. Seismik Refraksi.....	26
1.21. Atenuasi (Attenuation)	32
BAB II. Konsep Dasar Sinyal	37
2.1. Bandwidth.....	37
2.2. Main Lobe & Side Lobe	39
2.3. Filtering.....	40
2.4. Zero Phase and Minimum Phase	41

2.5. Dephasing	42
2.6. Detectability & Fidelity	42
2.7. Fast Fourier Transform.....	43
2.8. Convolution.....	44
2.9. Cross-correlation.....	45
2.10. Auto-correlation	46
2.11. Deconvolution	47
2.12. Prewhitening	49
2.13. Aliasing	49
2.14. Gabor Transform.....	50
2.15. Hilbert Transform	51
2.16. Nyquist Frequency	52
2.17. Dynamic Range & Bit	53
2.18. dB/Octave	54
2.19. dc Component.....	57
2.20. Multi Taper Method (MTM)	59
BAB III. Terminologi dan Akuisisi Data Seismik	63
3.1. Source, Receiver, Streamer, Inline, Crossline	63
3.2. Common Depth Point	64
3.3. TWT (Two-Way Travelttime).....	66
3.4. 2D Marine Acquisition	67
3.5. 3D Land Survey	71
3.6. 3D Seismic Acquisition QC.....	74
3.7. 4D Seismic	75
BAB IV. Pengolahan Data Seismik	79
4.1. SEG Y	79
4.2. Shell Processing Support (SPS)	82
4.3. Geometry.....	82
4.4. Seismic Reference Datum (SRD)	84

4.5. Statics	85
4.6. First Break	86
4.7. Refraction	86
4.8. Geometrical Spreading Correction.....	87
4.9. Groundroll Removal menggunakan FK-filter.....	88
4.10. Velocity Analysis.....	90
4.11. RMS (Root Mean Square) Velocity	93
4.12. Interval Velocity	93
4.13. NMO (Normal Move Out)	94
4.14. Near Offset and Far Offset.....	96
4.15. Mute	97
4.16. Angle Mute	98
4.17. Stacking	99
4.18. Brute Stack	100
4.19. Angle Stack	101
4.20. Migrasi	101
4.21. Migration Aperture	102
4.22. Pre Stack Time Migration (PSTM).....	103
4.23. Pre Stack Depth Migration (PSDM).....	106
4.24. Preserve & Non-Preserve Amplitude	106
4.25. Ray Tracing.....	107
BAB V. Kondisi Tertentu pada Pengolahan Data Seismik	111
5.1. Dogleg.....	111
5.2. Crooked Line	111
5.3. Non-Zero Apex	114
5.4. Ghost.....	115
5.5. Spike	115
5.6. Hockey Stick	116
5.7. Mis tie.....	117

5.8. Bowtie	118
5.9. Multiple.....	118
5.10. Prism Waves	120
BAB VI. Perkembangan dalam Pengolahan Data Seismik.....	123
6.1. Curvelet Transform.....	123
6.2. Dip Moveout.....	125
6.3. Higher Order Moveout	126
6.4. Surface Related Multiple Elimination (SRME).....	128
6.5. Anomalous Amplitude noise Attenuation (AAA)	129
6.6. Anisotropy (Seismic Anisotropy).....	130
6.7. Anisotropic Parameters	130
6.8. Anisotropy Classification	132
6.9. Anisotropic Normal Move Out (NMO)	133
6.10. Artificial Neural Network (ANN)	135
6.11. SELMA	137
6.12. Seismic Refraction & Ray Tracing	142
6.13. Seismic Tomography	143
6.14. Seismic Multicomponent	144
6.15. Shear Wave Splitting	147
6.16. Slant Stack / Transformasi Radon.....	149
6.17. Source Signature	150
6.18. Spectral Balancing	152
6.19. Spectral Broadening	155
6.20. Spectral Decomposition.....	158
6.22. Super Gather	160
6.23. Sweep Vibroseis	161
6.24. Tau-P	162
6.25. Time-Depth Conversion	164
6.26. True Amplitude Recovery (TAR)	169

6.27. Tuning Thickness	171
6.28. Tuning Cube, Tuning Frequency, Frequency Gather, AVF	171
6.29. Velocity Dispersion	175
6.30. Q Migration	177
6.31. Vertical Seismic Resolution	179
6.32. V_p/V_s	182
6.33. Water Column Statics	183
6.34. Wavelet Polarity-Onshore	185
REFERENSI	187



BAB I

Konsep Dasar Gelombang Seismik

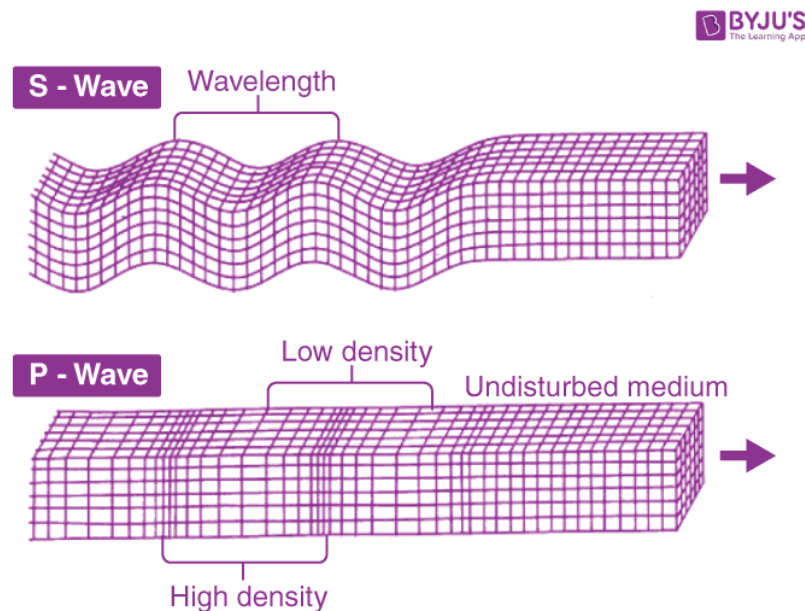
BAB I. Konsep Dasar Gelombang Seismik

1.1. Tipe Gelombang Seismik

Gelombang seismik terdiri atas gelombang badan (*body waves*) dan gelombang permukaan (*surface waves*). Gelombang badan terdiri atas gelombang P dan gelombang S, sedangkan gelombang permukaan terdiri atas gelombang Rayleigh dan gelombang Love.

Gelombang P (*P-wave*) merupakan *primary wave*, gelombang pertama yang tiba di seismograf. Gelombang P merupakan gelombang seismik tercepat yang merambat pada medium padat, cair maupun gas. Gelombang P merupakan gelombang kompresi longitudinal yang mirip dengan gerakan pegas/*slinky*. Partikel medium merambat dengan gerakan yang sejajar dengan arah perambatan gelombang. Kecepatan gelombang P (V_p) pada kerak bumi adalah 1.5 – 8 km/s.

Gelombang S (*S-wave*) merupakan *secondary wave*, gelombang kedua yang tiba saat gempa bumi. Gelombang S lebih lambat daripada gelombang P, dan hanya dapat merambat pada medium padat. Gelombang S adalah gelombang *transversal shear*, yang mirip dengan gerakan tali. Partikel medium merambat dengan gerakan yang tegak lurus dengan arah perambatan gelombang. Kecepatan gelombang S (V_s) pada kerak bumi adalah 0.5 – 6 km/s.



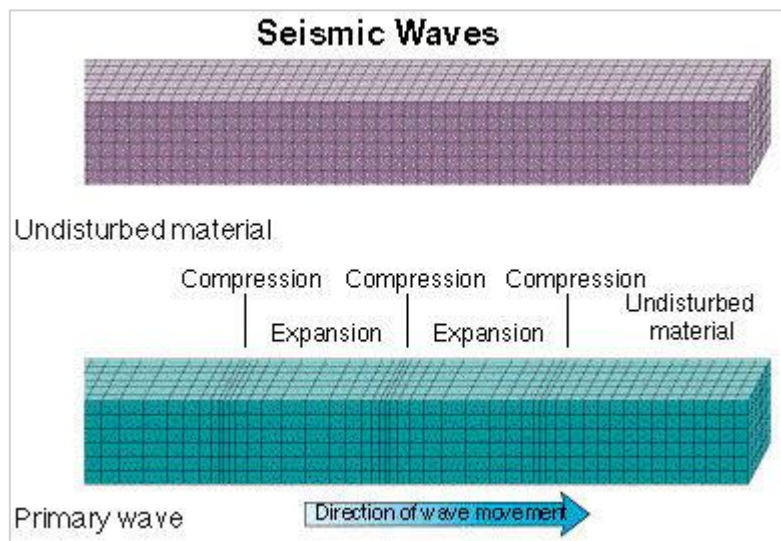
Gambar 1. 1 Ilustrasi gelombang badan P dan S (Sumber gambar: <https://byjus.com/physics/p-wave>)

1.2. Gelombang Kompresi (P wave)

Jika bumi yang 'tenang' diberikan gangguan, misalnya diganggu dengan diledakannya sebuah dinamit, maka partikel-partikel material bumi tersebut akan bergerak dalam berbagai arah. Fenomena pergerakan partikel material bumi ini disebut dengan gelombang.

Jika pergerakan partikel tersebut sejajar dengan arah penalaran gelombang, maka disebut dengan gelombang kompresi (gelombang primer atau *primary wave* atau gelombang P).

Gambar dibawah menunjukkan karakter material sebelum diganggu dan karakter gelombang P.



Gambar 1. 2 Ilustrasi gelombang P (Sumber gambar: Das, 2006)

Rekaman seismik refleksi suatu eksplorasi migas merupakan rekaman gelombang P yang menjalar dari sumber (dinamit, vibroseis, dll.) ke penerima (*geophone*).

Gelombang P menjalar dengan kecepatan tertentu. Jika melewati material yang bersifat kompak atau keras misalnya dolomit maka kecepatan gelombang P akan lebih tinggi dibanding jika melewati material yang 'lunak' seperti batulempung.

Sebagai fungsi dari modulus bulk (κ), modulus geser (μ), dan densitas (ρ), kecepatan gelombang P (V_p) adalah:

$$V_p = \sqrt{\frac{\kappa + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

BIOGRAFI PENULIS



Agus Abdullah merupakan dosen program studi Teknik Geofisika Universitas Pertamina, lulusan Sarjana dan Master Teknik Geofisika Institut Teknologi Bandung, dan Doktor di *The Australian National University* (ANU) Australia. Penulis mengawali karirnya sebagai *Geophysicist* di ConocoPhillips, ExxonMobil, dan Kuwait Oil Company sebelum menjadi dosen di Universitas Pertamina. Penulis juga merupakan *founder* Geodwipa *Cloud Computing*. Penulis memiliki spesifikasi di berbagai bidang Geofisika dan komputasi seperti tomografi, inversi, *seismic interpretation*, *seismic visualization*, dll.

Ensiklopedi Seismik - Part 1: Basic Seismic Processing terdiri atas konsep dasar gelombang seismik (tipe gelombang seismik, prinsip Fermat, difraksi, atenuasi, tras seismik, reflektivitas, dll); konsep dasar sinyal (*bandwidth, filtering, convolution, Fast Fourier Transform*, frekuensi Nyquist, dll); pengenalan akuisisi data seismik (2D/3D/4D, *land/marine*); pengolahan data seismik (*first break, normal move out, velocity analysis, migration, stacking*, dll); perkembangan dalam pengolahan data seismik (*anisotropy, seismic tomography, shear wave splitting, spectral balancing, spectral decomposition*, dll). Materi yang disampaikan dilengkapi dengan definisi, ilustrasi dan persamaan sehingga memudahkan pembaca untuk memahami filosofi dasar dari terminologi seputar metode seismik tersebut. Buku ini diperuntukkan bagi mahasiswa, pendidik, peneliti dan praktisi kalangan geofisika khususnya bagi yang mendalami pengolahan data seismik. Penjelasan di dalam buku ini diharapkan dapat menjadi dasar pemahaman sebelum diaplikasikan menggunakan data sebenarnya.

