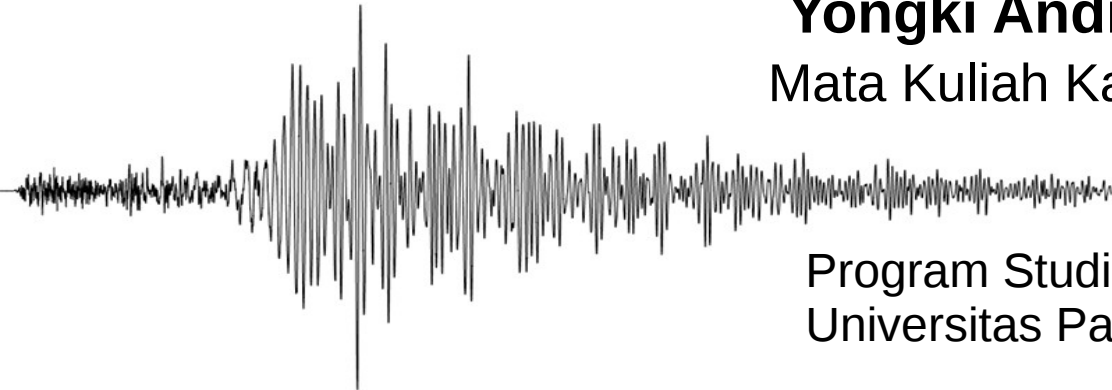


Earthquake kinematic source modelling using a new technique with ADER-DG

Yongki Andita Aiman

Mata Kuliah Kapita Selekta

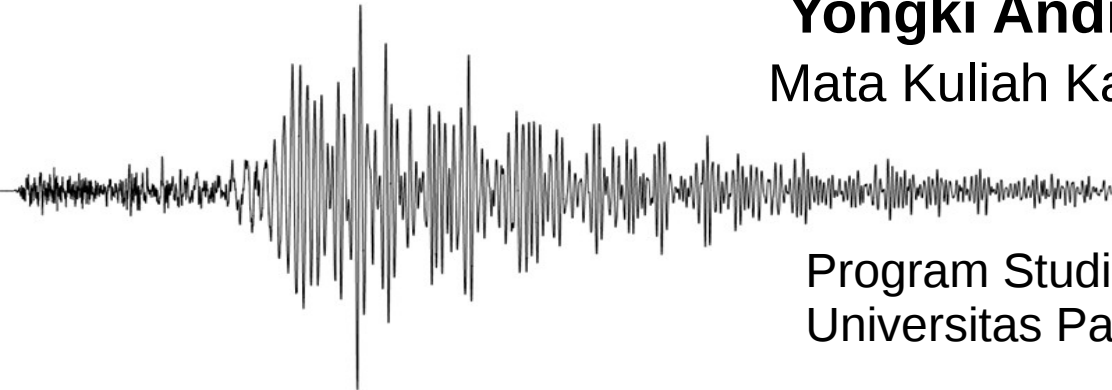
Program Studi Geofisika
Universitas Padjadjaran



Earthquake kinematic source modelling using a new technique with ADER-DG

Yongki Andita Aiman
Mata Kuliah Kapita Selekta

Program Studi Geofisika
Universitas Padjadjaran





Yongki Andita Aiman

yongki.aiman@gmail.com

2011 – Geofisika Universitas Padjadjaran

2016 – Geofisika LMU – TUM Munich

 @aimanyongki



Yongki Andita Aiman

yongki.aiman@gmail.com

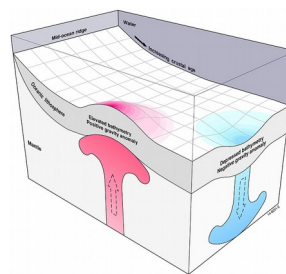
2011 – Geofisika Universitas Padjadjaran

2016 – Geofisika LMU – TUM Munich

 @aimanyongki

Bidang Minat

- Seismologi Komputasi
- Seismic Hazard Assessment
- Geodinamika : Topografi dinamis
- Gravity and Magnetic Field from Space





Yongki Andita Aiman

yongki.aiman@gmail.com

2011 – Geofisika Universitas Padjadjaran

2016 – Geofisika LMU – TUM Munich

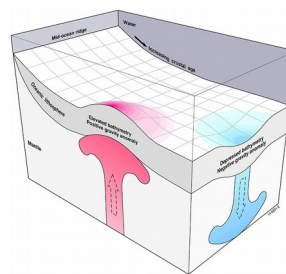
 @aimanyongki

Bidang Minat

- Seismologi Komputasi
- Seismic Hazard Assessment
- Geodinamika : Topografi dinamis
- Gravity and Magnetic Field from Space

Ingin belajar

- Machine Learning in Geophysics
- Version Control: Github
- High-Performance Computing



Outline

Sumber Seismik

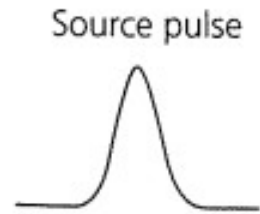
Model Sumber Gempa Bumi

Inversi Slip

Metode ADER - DG

Source Modelling with ADER-DG

Sumber seismik



Sumber seismik

- Cakupan ilmu seismologi

Ilmu yang mempelajari gempa bumi dan perambatan gelombang elastik di dalam bumi

- Deskripsi sumber seismik
- Persamaan gerak mengenai penjalaran gelombang → wave equation
- Teori yang menggabungkan keduanya + dari solusi persamaan gelombang

Sumber seismik

- Fisika sumber gempa – Mengapa penting dipelajari?
 - Kunci utama dalam studi prediksi *ground motion*
 - ① Ground motion is the movement of the earth's surface from earthquakes or explosions
 - Memahami proses inisiasi, perambatan dan *healing*
- Sumber seismik:
 - External: angin, gelombang laut, hantaman meteorit, peluncuran roket, letusan gunung api
 - Internal: Gempa bumi, ledakan bawah permukaan

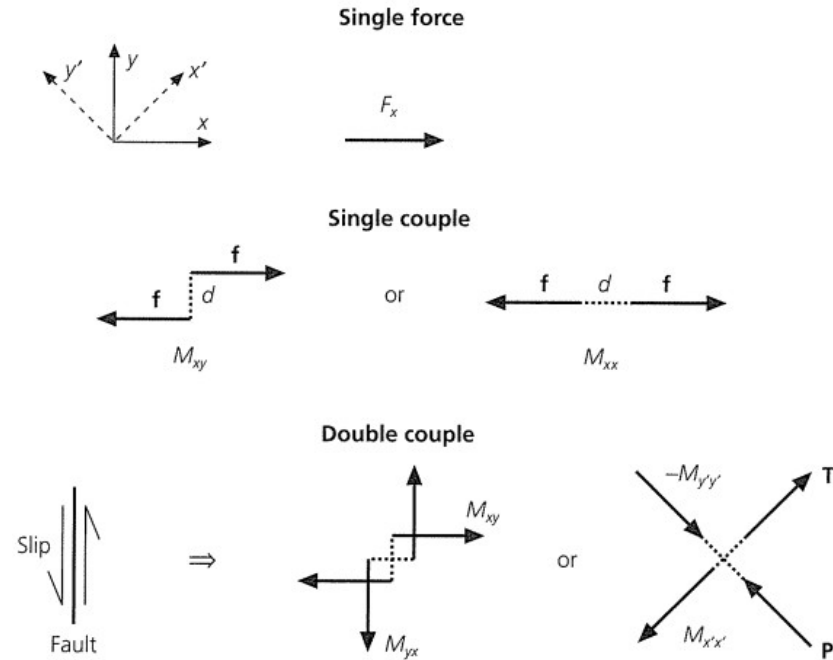


Bagaimana cara menggambarkan sumber seismik secara matematis?

→ Mencari *body force* yang ekuivalen dengan proses terjadinya gempa bumi

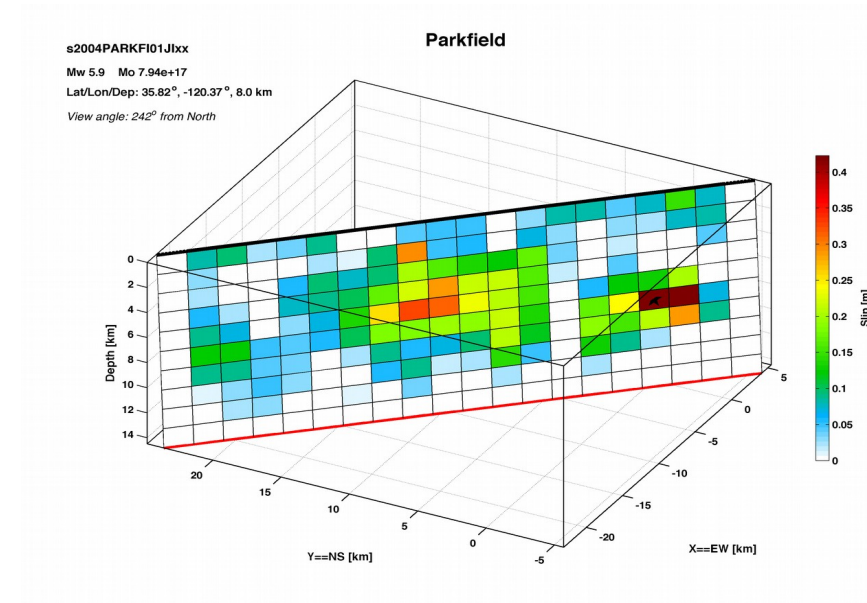
Model Sumber Gempa Bumi

- Single force point source
 - Simple explosions (Nakano, 1923)
- Double couple
 - Ekuivalen dengan patahan pada model elastik (Maruyama, 1963; Burridge and Knopoff, 1964)
- Finite Source Model
 - Model kinematis / model slip
 - Distribusi moment tensor sources



Finite Source Model

- Model *point source* → sumber gempa kecil dan jauh dari pengamat
- Perlu mempertimbangkan
 - **geometri** dari sumber gempa dan
 - **perambatan** ruptur pada patahan
- Model finite source → distribusi sumber tensor momen



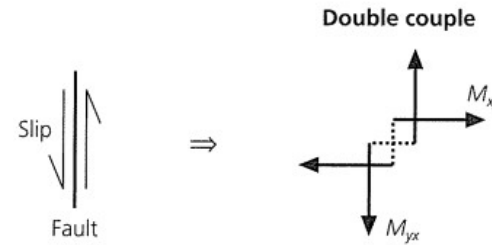
Slip inversion

Slip inversion

- What we have discussed:

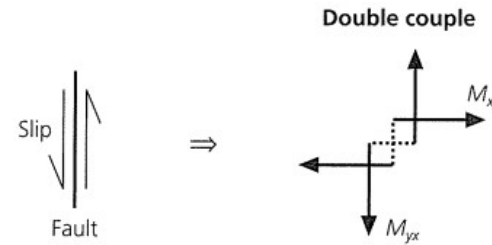
Slip inversion

- What we have discussed:
 - Teori atau model sumber gempa bumi



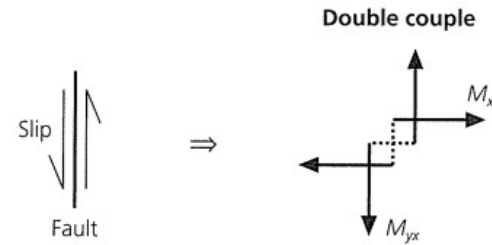
Slip inversion

- What we have discussed:
 - Teori atau model sumber gempa bumi
- What we actually have:



Slip inversion

- What we have discussed:
 - Teori atau model sumber gempa bumi
- What we actually have:
 - Rekaman seismogram



Slip inversion

- Bagaimana cara mempelajari fenomena fisis ketika ruptur gempa terjadi?
- Harus mengetahui *spatial and temporal behavior* dari gempa
 - Proses ruptur → model distribusi slip patahan = slip model

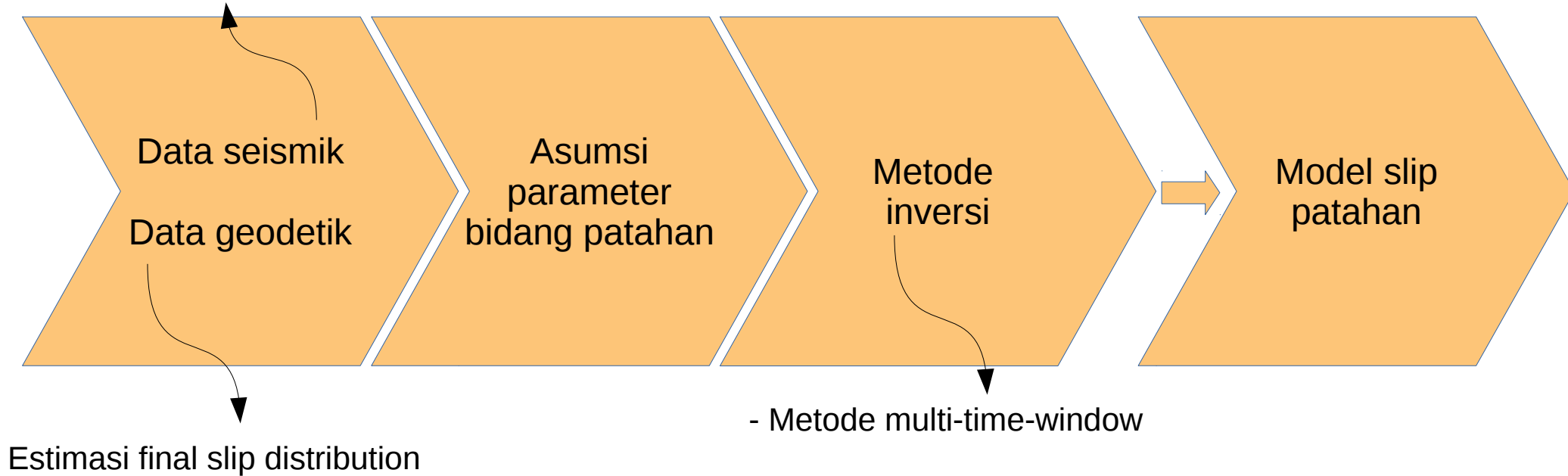
① Earthquake rupture is the extent of slip that occurs during an earthquake in the Earth's crust.

Inversi Slip

- Trifunac (1974) melakukan inversi slip dari gempa bumi San Fernando 1971
- Membagi bidang patahan menjadi sejumlah **subfaults**

Slip inversion

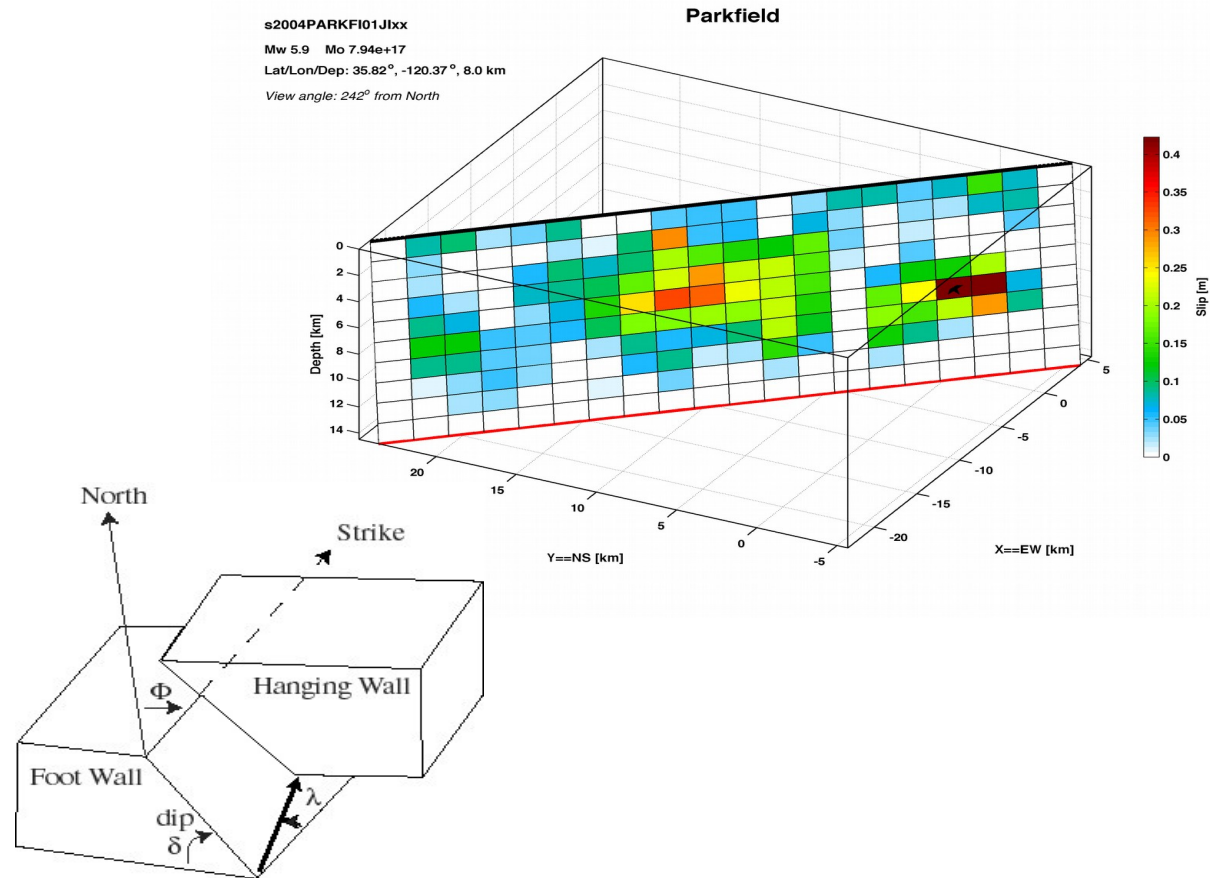
- Broadband seismogram
- Strong-motion data



Model Slip Patahan

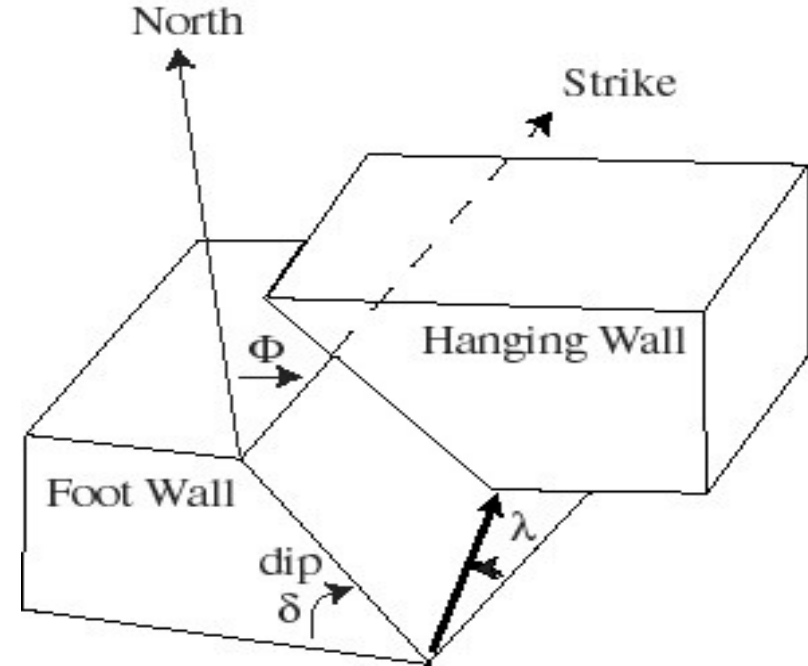
Parameter patahan (fault)

- Posisi: latitude, longitude, kedalaman
- Size: panjang dan lebar
- Orientasi: strike dan dip
- Parameter slip: nilai slip dan sudut rake



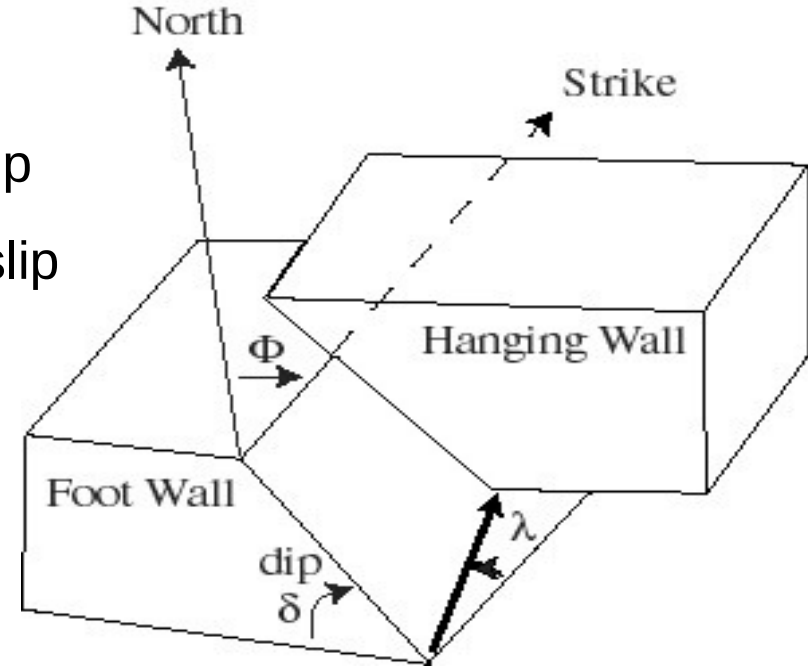
Model Slip Patahan

- Dip = 90° Rake = 0° →
- Dip = 90° Rake = 180° →
- Dip = 45° Rake = 90° →
- Dip = 45° Rake = -90° →



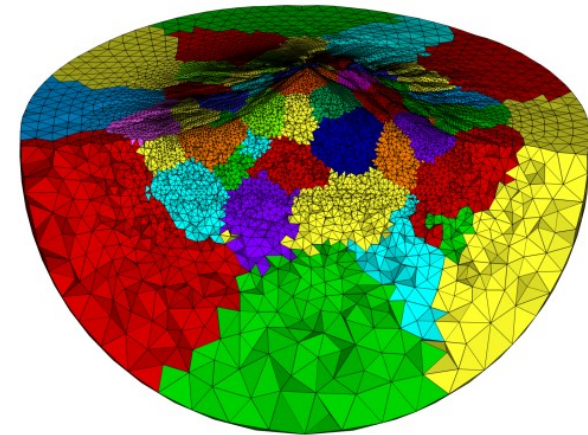
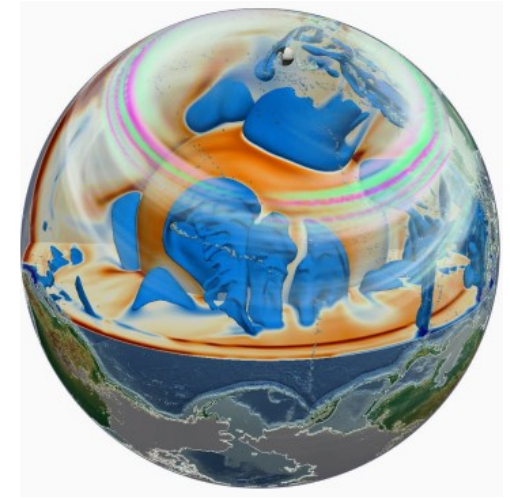
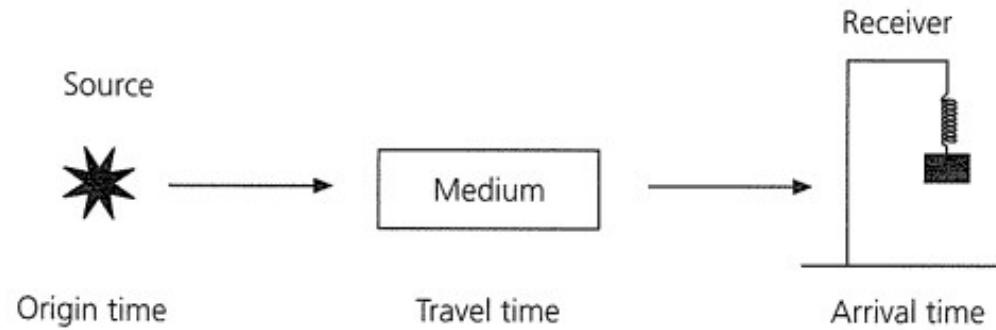
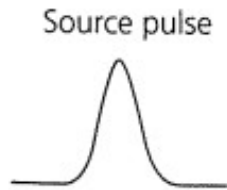
Model Slip Patahan

- Dip = 90° Rake = 0° → left-lateral strike-slip
- Dip = 90° Rake = 180° → right lateral strike slip
- Dip = 45° Rake = 90° → reverse fault
- Dip = 45° Rake = -90° → normal fault



ADER - DG

Arbitrary high order DERivative – Discontinuous Galerkin



Igel, 2018

Metode Numerik

Finite Difference Method

- Metode grid
- Mudah diaplikasikan
- Sulit diaplikasikan pada patahan non-planar

Metode Numerik

Finite Difference Method

- Metode grid
- Mudah diaplikasikan
- Sulit diaplikasikan pada patahan non-planar

Pseudo-spectral Method

- Metode FD dengan menggunakan fungsi diskrit: Fourier series
- Sulit diaplikasikan untuk pemrograman paralel

Metode Numerik

Finite Difference Method

- Metode grid
- Mudah diaplikasikan
- Sulit diaplikasikan pada patahan non-planar

Pseudo-spectral Method

- Metode FD dengan menggunakan fungsi diskrit: Fourier series
- Sulit diaplikasikan untuk pemrograman paralel

Finite Element Method

- Orthogonal basis function
- Fleksibel untuk geometri yang kompleks
- Dispersif

Metode Numerik

Finite Difference Method

- Metode grid
- Mudah diaplikasikan
- Sulit diaplikasikan pada patahan non-planar

Pseudo-spectral Method

- Metode FD dengan menggunakan fungsi diskrit: Fourier series
- Sulit diaplikasikan untuk pemrograman paralel

Finite Element Method

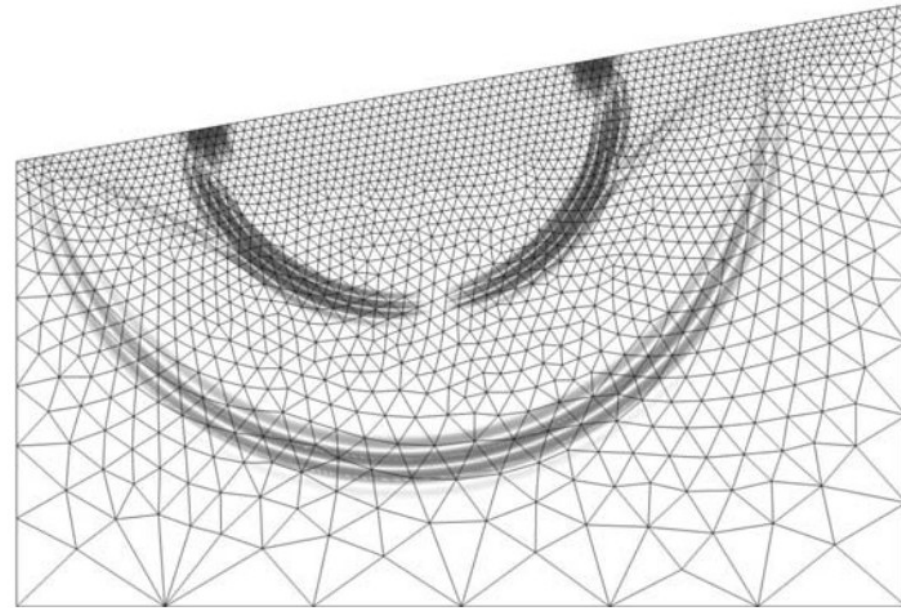
- Orthogonal basis function
- Fleksibel untuk geometri yang kompleks
- Dispersif

Spectral Element Method

- Akurat dan flexibel
- Hexahedral-based

Metode ADER – DG

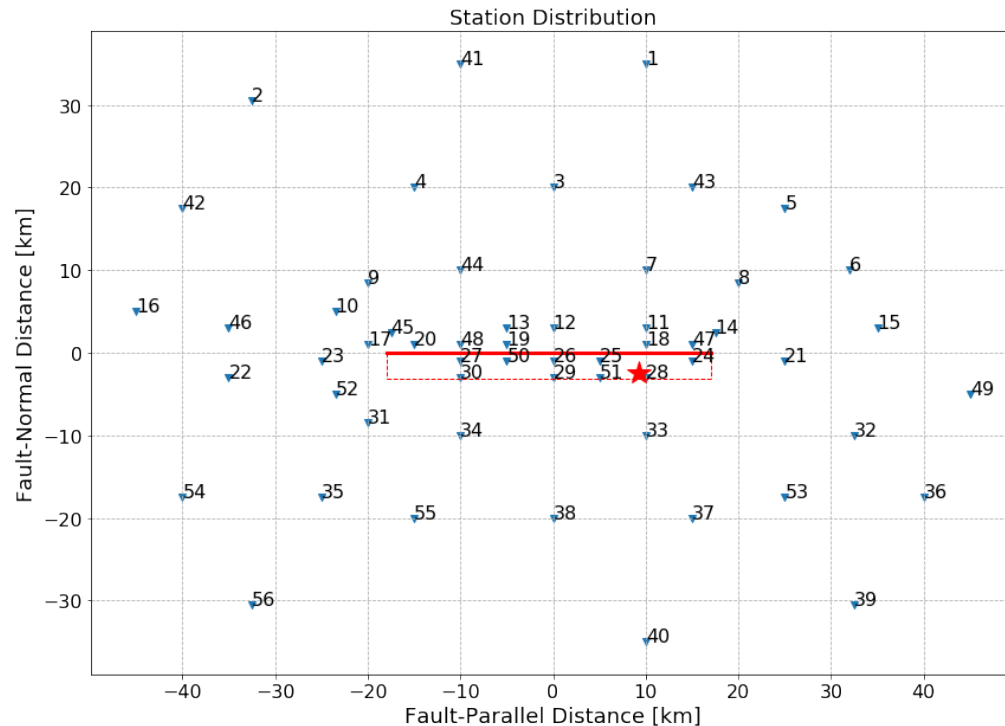
- Discontinuous Galerkin → FE method, diskontinu pada *element interfaces*
- Akurasi tinggi: spasial dan temporal
- Fleksibilitas → elemen triangular atau tetrahedral
- Aplikasi pada kasus kompleks: material heterogen, anisotropik, viskoelastik



Käser and Dumbser, 2006

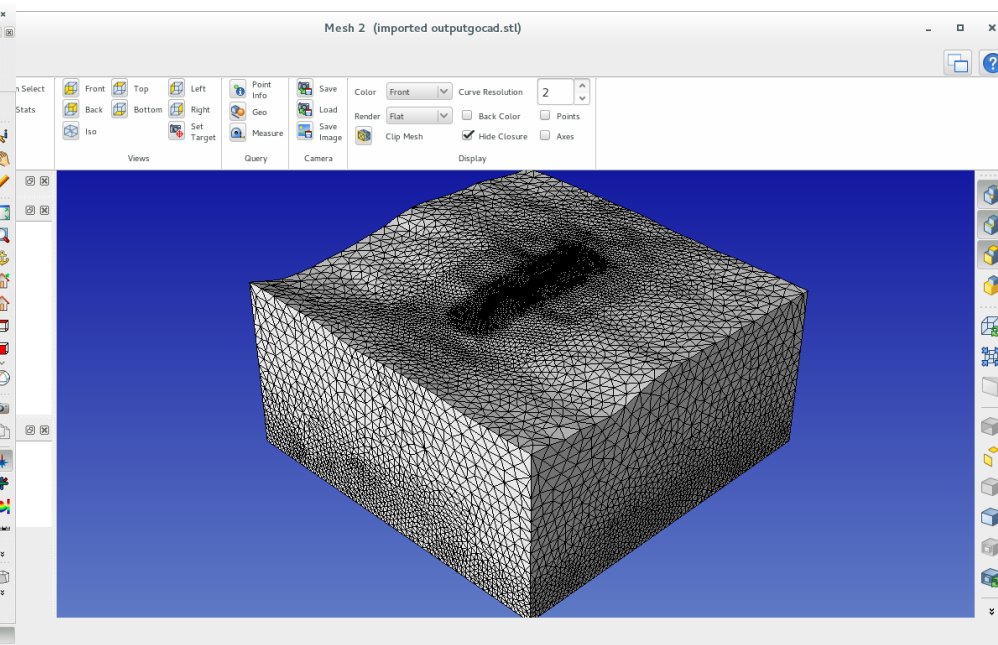
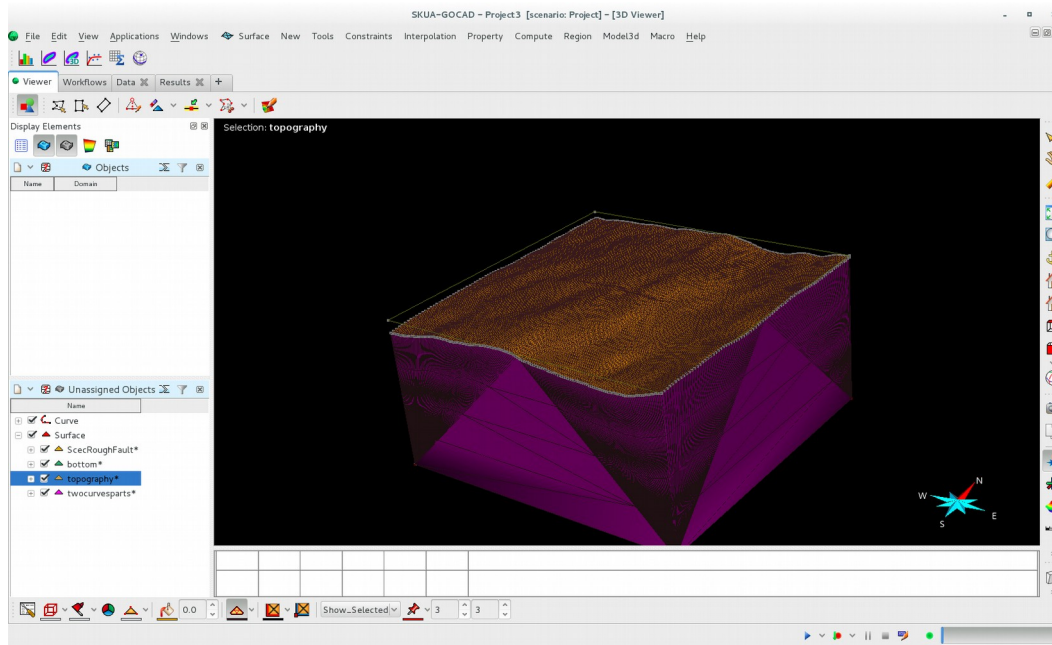
Metodologi

- Data: Model kinematis sumber gempa bumi → SIV Benchmark

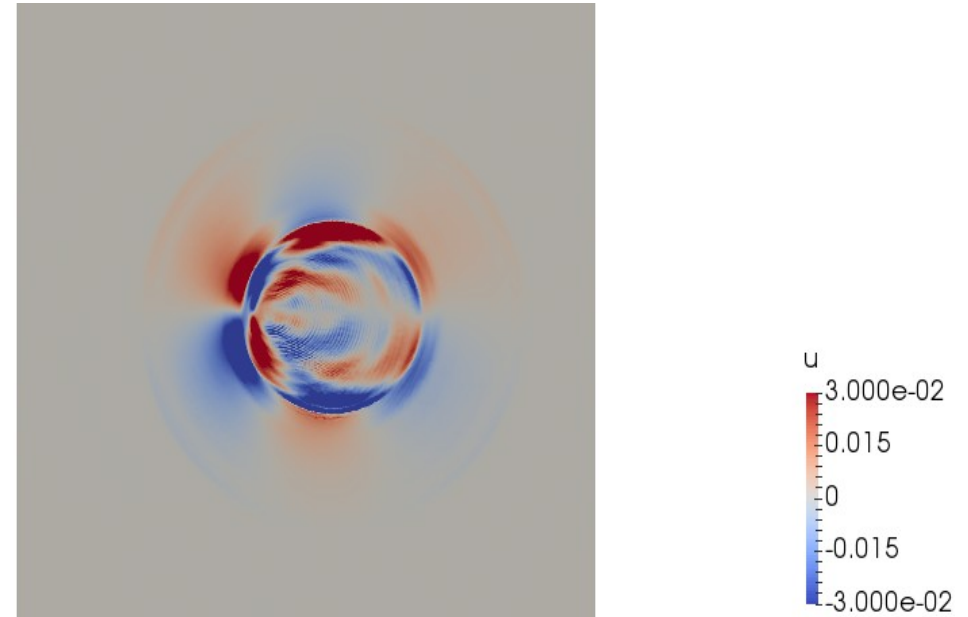
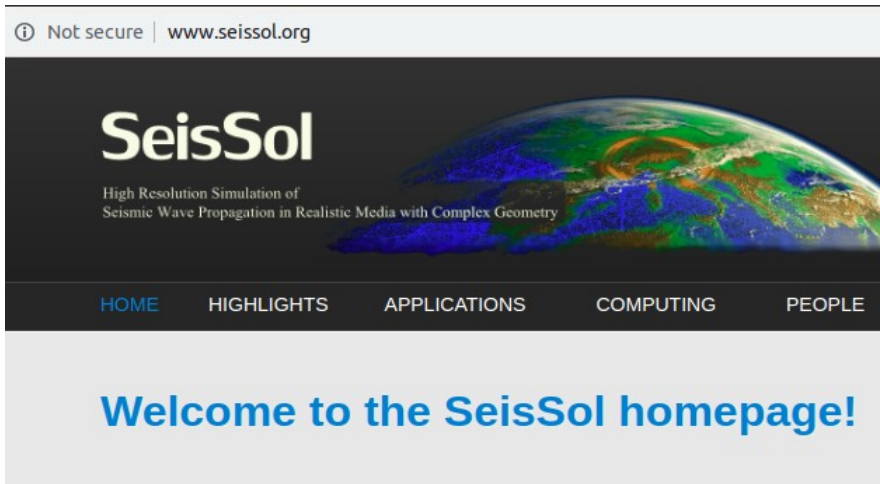


- 56 receivers
- 73 x 37 subfaults dengan spasi 500 m
- Dimensi patahan: ~ 36 km x 18 km
- Hypocenter: [9.2, -2.5, 14.0] km
- Strike-slip fault dengan dip 80°
- Right-lateral dengan fault strike 90°
- Seismic moment $M_0 = 1.06 \times 10^{19}$ Nm atau $M_w = 6.6$

- Pembuatan mesh model patahan → GoCAD dan simModeler



- Simulasi: SeisSol



Simulasi gelombang permukaan detik ke-10