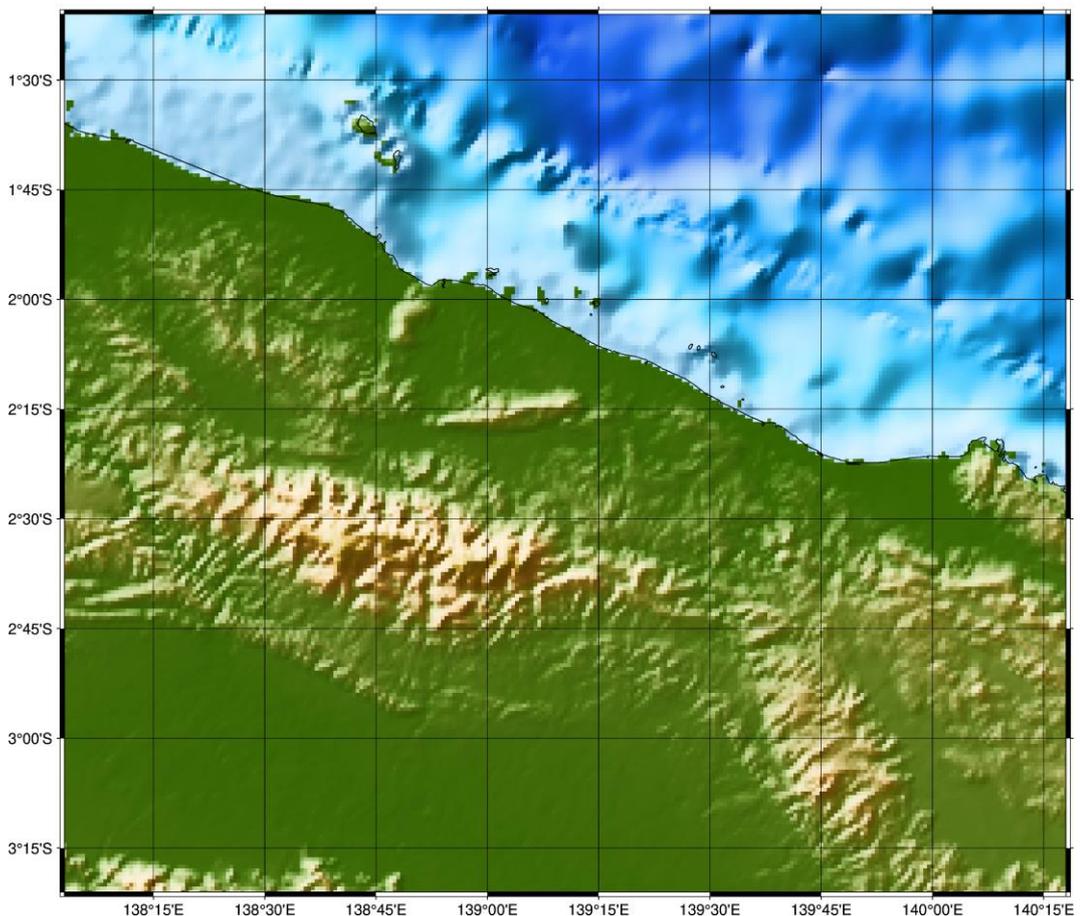


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

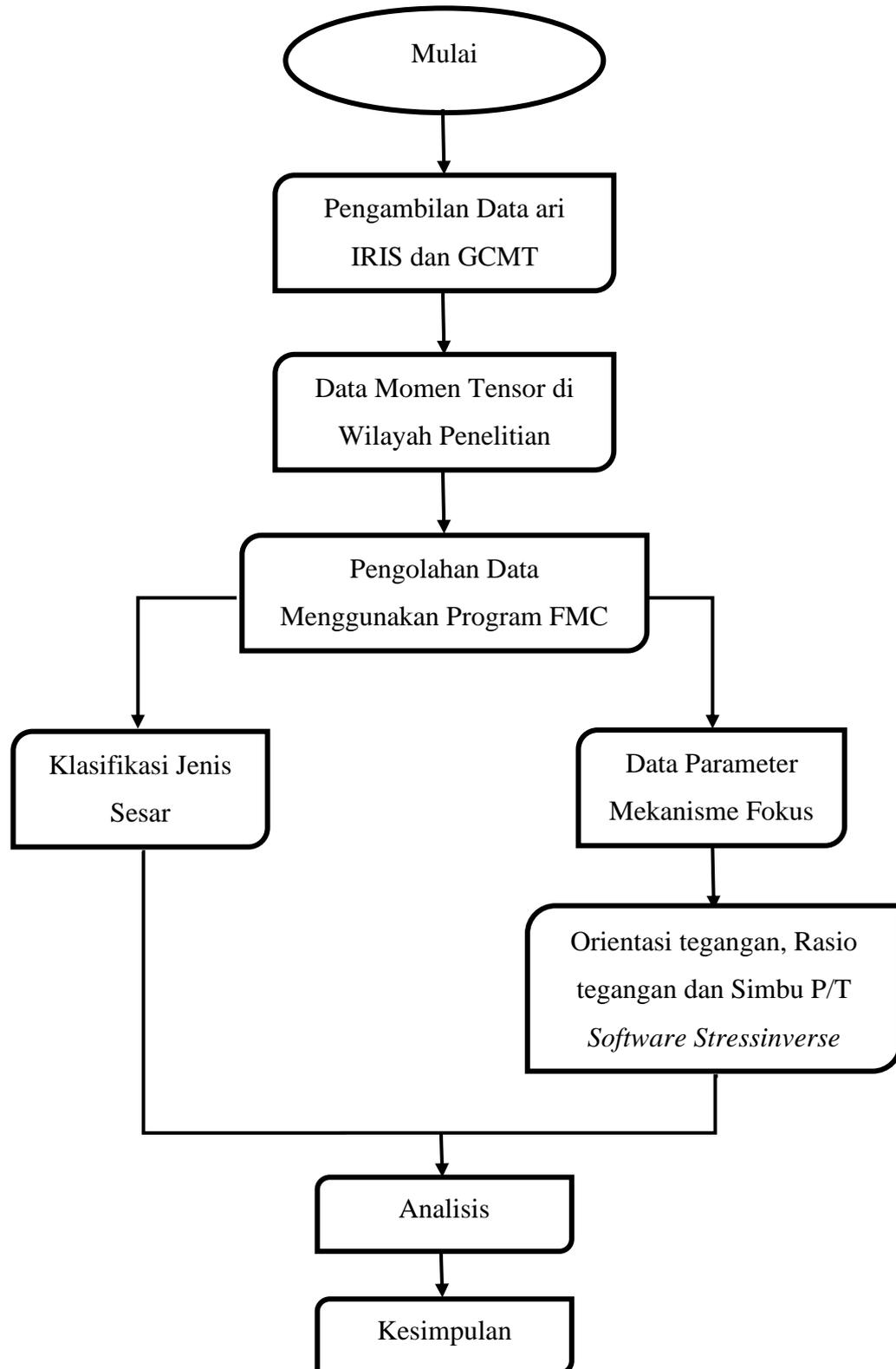
Sarmi adalah sebuah kabupaten di Provinsi Papua, Indonesia. Secara administrasi, Kabupaten Sarmi terletak di bagian utara Papua. Kabupaten ini memiliki ibu kota yang juga bernama Sarmi. Kabupaten Sarmi terletak di pesisir utara Pulau Papua, yang merupakan bagian dari wilayah Papua bagian Indonesia. Wilayah ini dikenal dengan keindahan alamnya, termasuk Pantai yang indah dan keanekaragaman hayati yang kaya. Pada gambar 3.1 menunjukkan cakupan luas wilayah penelitian.

Wilayah Kota Sarmi



Gambar 3.1 Peta Wilayah Penelitian (Tozer dkk., 2019).

3.2 Desain Penelitian



Abdul Azis, 2024

ANALISIS TEGANGAN UTAMA SESAR BERDASARKAN DATA GEMPA BUMI MENGGUNAKAN METODE STRESSINVERSE DI KABUPATEN SARMI PROVINSI PAPUA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.

3.3 Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini, data yang digunakan berasal dari data gempa bumi dan alat penelitian yang diperlukan untuk mendukung pengolahan data adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari data gempa bumi dan berasal dari berbagai sumber, termasuk *Incorporated Research Institution for Seismology* (IRIS) (<https://ds.iris.edu/spud/momenttensor>) (Trabant dkk., 2012) dan *Global Centroid Moment Tensor* (GCMT) (<https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>) (Dziewonski dkk., 1981; Ekström dkk., 2012).
2. Perangkat lunak yang diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian mencakup Anaconda Navigator, Program FMC, dan *Stressinverse*.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengumpulan data

Data penelitian diperoleh melalui pengunduhan dari katalog yang tersedia di situs web IRIS dan GCMT. Kriteria peristiwa gempa bumi yang digunakan dalam mengunduh data tersebut adalah waktu, magnitudo, kedalaman, dan koordinat. Rentang waktu yang digunakan dalam penelitian mencakup periode dari tahun 1976 hingga 2023. Peristiwa gempa bumi yang dipilih memiliki magnitudo antara 2 hingga 7 Mw dengan kedalaman kurang dari 150 km. Lokasi peristiwa gempa bumi yang di ambil untuk penelitian terletak dalam koordinat Kabupaten Sarmi $1^{\circ}35 - 3^{\circ}35$ LS dan $138^{\circ}05 - 140^{\circ}30$ BT. Parameter gempa bumi yang diambil melibatkan waktu, tanggal, koordinat, magnitudo, kedalaman, momen tensor, serta parameter mekanisme fokus gempa bumi seperti *strike*, *dip*, *rake*. Data yang dikumpulkan dari kedua sumber tersebut kemudian disusun dan disortir untuk memastikan tidak ada data yang memiliki nilai yang sama.

3.4.2 Pengolahan data

1. Pembagian wilayah utama penelitian

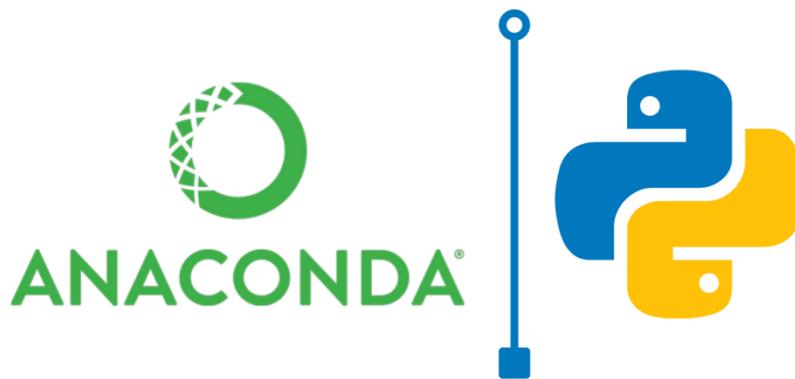
Metode dan variasi yang berbeda telah dikembangkan untuk menentukan tegangan tektonik dari data mekanisme fokus gempa bumi

(Angelier, 2002; Arnold & Townend, 2007; Gephart & Forsyth, 1984; Hardebeck & Michael, 2006; Lund & Slunga, 1999; Maury dkk., 1980; Michael, 1984). Prinsip-prinsip umum yang diterapkan dalam metode-metode ini melibatkan asumsi bahwa (1) tegangan tektonik bersifat homogen di wilayah tersebut, (2) gempa bumi terjadi pada sesar-sesar yang telah ada sebelumnya dengan orientasi yang bervariasi, dan (3) vektor slip menunjukkan ke arah tegangan geser pada sesar tersebut. Dengan berpegangan pada asumsi-asumsi tersebut, wilayah penelitian dapat dibagi menjadi sub-wilayah yang lebih kecil dimana kondisi homogen dari tegangan tektonik dapat diasumsikan.

2. Pembuatan peta persebaran mekanisme fokus

Penafsiran pola bidang sesar di setiap sub-wilayah menggunakan informasi dari mekanisme fokus. Mekanisme fokus dapat digunakan untuk analisis struktur pola bidang sesar di wilayah penelitian (Alim dkk., 2018). Untuk mengetahui struktur pola bidang sesar membutuhkan peta persebaran mekanisme fokus di daerah penelitian.

Anaconda Navigator adalah sebuah lingkungan pengembang Python (Python IDE) yang berfungsi untuk membuat, menyunting, dan mengembangkan program dengan kemudahan. Peta persebaran mekanisme fokus dapat dibuat menggunakan *library* pyGMT pada *software* Anaconda Navigator (Uieda dkk., 2022) namun PyGMT hanya dapat dijalankan di platform Python IDE. Selanjutnya, perintah-perintah (*script*) dalam bahasa Python ditulis di Anaconda Navigator dengan memanfaatkan *library* PyGMT dan beberapa *library* lain yang diperlukan untuk menghasilkan peta persebaran mekanisme fokus di wilayah penelitian. Data parameter yang digunakan untuk membuat peta persebaran mekanisme fokus *longitude*, *latitude*, dan momen tensor (Mrr, Mtt, Mpp, Mrp, Mtp, Mrt), serta momen seismik.



Gambar 3.3 Tampilan logo Anaconda Navigator (sebelah kiri) dan Bahasa pemrograman Python (sebelah kanan).

3. Penentuan jenis sesar dari data momen tensor

Hasil dari program sebelumnya mampu mengilustrasikan mekanisme fokus dengan menggunakan bola pantai (*beach ball*) di wilayah penelitian, tetapi tidak memberikan informasi terkait klasifikasi jenis sesar yang menjadi penyebab gempa bumi. Data yang awalnya digunakan untuk menggambarkan mekanisme fokus juga dapat dimanfaatkan untuk mengklasifikasikan jenis sesar menggunakan program FMC – *Earthquake Focal Mechanism Classification*. Parameter-parameter momen tensor tersebut kemudian diatur sesuai format yang diperlukan oleh program FMC. Program ini dijalankan melalui *Command Prompt* dalam sistem operasi Anaconda Navigator. Salah satu format yang dapat diterima oleh program ini adalah urutan bujur geografis, lintang geografis, kedalaman, mrr, mtt, mpp, mrt, mrp, mtp, momen seismik (*dyne.cm*), X plot, Y plot, dan ID.

4. Penentuan orientasi tegangan utama dan rasio tegangan

Parameter mekanisme fokus menjadi kunci dalam menentukan orientasi tegangan pada suatu wilayah melalui penerapan program *stressinverse*. Keberhasilan dari pendekatan ini tergantung pada pemenuhan asumsi-asumsi yang telah dijelaskan sebelumnya (Angelier, 2002; Arnold & Townend, 2007; Gephart & Forsyth, 1984; Hardebeck & Michael, 2006; Lund & Slunga, 1999; Maury dkk., 1980; Michael, 1984),

dengan memenuhi asumsi-asumsi yang telah dijelaskan sebelumnya, program *stressinverse* mampu menentukan orientasi tegangan utama (σ_1, σ_2 , dan σ_3) serta rasio tegangan R (Gephart & Forsyth, 1984). Keterkaitan antara rasio tegangan dengan tegangan utama dapat dilihat dalam persamaan berikut:

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (3.1)$$

Gephart & Forsyth, (1984) mengembangkan metode inversi tegangan (*stressinverse*) melibatkan pemanfaatan nilai tegangan normal (σ_n) dan tegangan shear (τ) pada sesar yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_n = T_i n_i = \tau_{ij} n_i n_j \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \tau N_i &= T_i - \sigma_n n_i \\ &= \tau_{ij} n_j - \tau_{jk} n_j n_k n_i \\ &= \tau_{kj} n_j (\delta_{ik} - n_i n_k) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Ketika δ_{ik} mewakili Kronecker delta, \mathbf{T} adalah traksi sepanjang sesar, \mathbf{n} adalah normal sesar dan \mathbf{N} adalah satuan vektor dari tegangan shear sepanjang sesar. Kemudian, persamaan (3.3) dimodifikasi sehingga menjadi seperti:

$$\tau_{jk} n_j (\delta_{ik} - n_i n_k) = \tau N_i \quad (3.4)$$

Agar dapat menghitung ruas kanan dari persamaan (3.3), maka perlu menerapkan asumsi Wallace-Bot (Bott, 2015; Wallace, 1951) dan proses identifikasi dilakukan untuk memetakan arah tegangan shear \mathbf{N} dengan arah slip \mathbf{s} dari gerakan shear sepanjang sesar. Meskipun asumsi dibuat bahwa tegangan shear (τ) pada sesar aktif memiliki nilai yang konsisten untuk semua gempa bumi yang diselidiki, metode ini tidak dapat menerapkan nilai absolut dari τ . Sebagai solusi, nilai τ dinormalisasikan menjadi 1 dalam persamaan (3.4) yang dinyatakan dalam bentuk metrik:

$$\mathbf{A} \mathbf{t} = \mathbf{s} \quad (3.5)$$

dimana \mathbf{t} adalah komponen vektor tegangan, yaitu

$$\mathbf{t} = [\tau_{11} \tau_{12} \tau_{13} \tau_{22} \tau_{23}]^T \quad (3.6)$$

\mathbf{A} adalah matriks 3×5 yang dihitung berdasarkan sesar normal \mathbf{n} ,

$$\begin{bmatrix} n_1(n_2^2 + 2n_3^2) & n_2(-n_1^2 + n_3^2) & n_3(-2 - n_2^2) \\ n_2(1 - 2n_1^2) & n_1(1 - 2n_3^2) & -2n_1n_2n_3 \\ n_3(1 - 2n_1^2) & -2n_1n_2n_3 & n_1(1 - 2n_3^2) \\ n_1(-n_2^2 + n_3^2) & n_2(n_1^2 + 2n_3^2) & n_3(-n_1^2 - 2n_2^2) \\ -2n_1n_2n_3 & n_3(1 - 2n_2^2) & n_2(1 - 2n_3^2) \end{bmatrix}^T \quad (3.7)$$

\mathbf{s} mewakili arah satuan dari vektor slip. Dengan meluaskan persamaan (3.7) ke mekanisme fokus gempa K dengan normal sesar yang diketahui \mathbf{n} dan arah slip \mathbf{s} , kita dapat memperoleh sistem persamaan linear sebanyak $3K$ untuk lima komponen dengan tensor yang tidak diketahui. Oleh karena itu, dengan memasukan persamaan $Tr(\tau) = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$ dan menyesuaikan sistem ini menggunakan inversi linear umum dalam L2-norm (Lay, 1995).

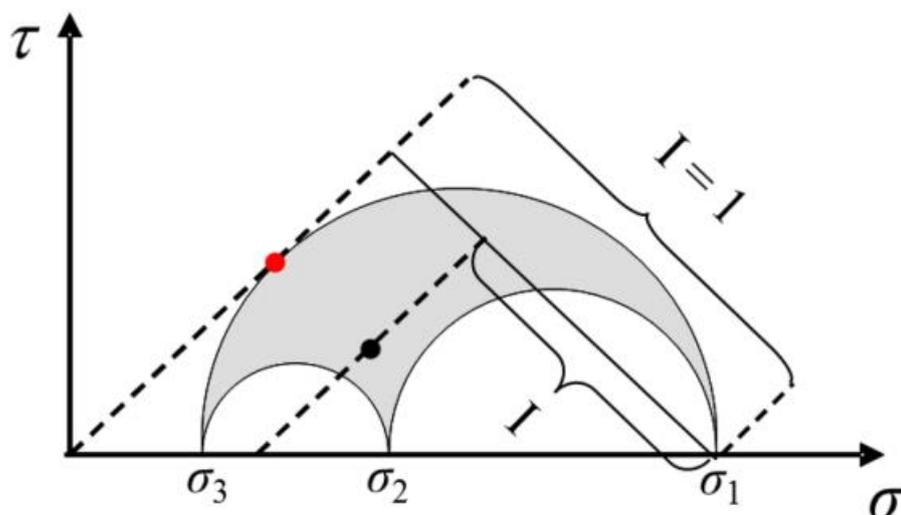
$$\mathbf{t} = \mathbf{A}^{-g} \mathbf{S} \quad (3.8)$$

Dari penjelasan di atas, kelemahan dari metode Michael adalah kebutuhan untuk mengetahui orientasi sesar (Michael, 1984). Apabila metode ini diterapkan pada orientasi bidang sesar yang tidak tepat, akurasi dari tensor tegangan yang dihasilkan dapat menurun.

Vavryčuk berhasil mengatasi kendala tersebut dengan menerapkan pendekatan ketidakstabilan sesar (*fault instability*), yang dirumuskan dalam persamaan (3.9) (Vavryčuk dkk., 2013). Ketidakstabilan sesar dapat diinterpretasikan dalam rentang nilai dari 0 hingga 1. Nilai yang mendekati 0 mencerminkan orientasi sesar yang paling stabil, sementara nilai yang mendekati 1 menunjukkan sesar yang paling tidak stabil.

$$I = \frac{\tau - \mu(\sigma - \sigma_2)}{\tau_c \mu(\sigma_c - \sigma_3)} \quad (3.9)$$

yang mana τ_c dan σ_c mewakili tegangan geser dan tegangan normal efektif di sepanjang sesar utama (yang ditunjukkan dengan titik merah pada gambar 3.3 dan τ , σ adalah traksi geser dan traksi normal efektif di sepanjang sesar analisis.



Gambar 3.4 Definisi dari ketidakstabilan sesar dalam diagram Morh (Vavryčuk, 2014).

Berdasarkan studi (Vavryčuk dkk., 2013). Pada gambar tersebut, titik merah mempresentasikan sesar yang paling tidak stabil dalam medan tegangan, sementara titik hitam mengindikasikan sesar yang diamati.

Vavryčuk kemudian mengembangkan metode *stressinverse* melalui pendekatan inversi sambungan iteratif, yang diimplementasikan dalam program *stressinverse* (Vavryčuk, 2014). Program ini memodifikasi Metode Michael dengan menambahkan kendala ketidakstabilan sesar (*fault instability*). Dengan kendala ini, nilai sesar yang tidak stabil diidentifikasi dan dihitung kembali pada iterasi selanjutnya menggunakan Metode Michael hingga diperoleh nilai tegangan yang optimal. Program *stressinverse* ini ditulis dalam bahasa pemrograman Python dan dapat digunakan oleh berbagai pihak (<https://www.ig.cas.cz/stress-inverse>).

```

import numpy as np
import os

### NOTE: do not remove r before strings (r'filename'), to safely use
#         backslashes in filenames

#-----
# input file with focal mechanisms
#-----
input_file = r'../Data/West_Bohemia_mechanisms.dat'

#-----
# output file with results
#-----
output_file = r'../Output/West_Bohemia_Output'

# ASCII file with calculated principal mechanisms
principal_mechanisms_file = r'../Output/West_Bohemia_principal_mechanisms'

#-----
# accuracy of focal mechanisms
#-----
# number of random noise realizations for estimating the accuracy of the
# solution
N_noise_realizations = 100
# =====

```

Gambar 3.5 Tampilan program *stressinverse*

3.5 Analisis Data

3.5.1 Analisis sesar di setiap sub-wilayah penelitian

Hasil pengolahan data melalui program FMC memungkinkan untuk mengidentifikasi jenis sesar yang menjadi penyebab terjadinya gempa bumi di wilayah penelitian. Setelah mengetahui jenis sesar di setiap sub-wilayah melalui program FMC berdasarkan data momen tensor, pembentukan peta persebaran mekanisme fokus berdasarkan jenis sesar dilakukan dengan menggunakan *library* python pada *software* Anaconda Navigator. Peta ini memberikan visualisasi pola sesar yang terjadi di wilayah penelitian, sehingga dapat memberikan gambaran tentang kondisi geologi yang terkait dengan aktivitas gempa bumi di wilayah tersebut.

3.5.2 Analisis orientasi tegangan utama sesar dan rasio tegangan di setiap sub-wilayah penelitian

Hasil dari pengolahan data parameter mekanisme fokus menggunakan metode *stressinverse* memberikan informasi mengenai orientasi tegangan dan rasio

Abdul Azis, 2024

ANALISIS TEGANGAN UTAMA SESAR BERDASARKAN DATA GEMPA BUMI MENGGUNAKAN METODE STRESSINVERSE DI KABUPATEN SARMI PROVINSI PAPUA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

tegangan di wilayah penelitian. Nilai orientasi tegangan ini dapat mencerminkan struktur sesar yang ada di setiap sub-wilayah penelitian. Selanjutnya, nilai rasio tegangan digunakan untuk menilai tingkat konsentrasi tegangan di masing-masing sub-wilayah penelitian.