

## PENENTUAN TEGANGAN NORMAL DI SEKITAR SESAR FLORES MENGGUNAKAN SOFTWARE STRESSINVERSE

Putri Lely Nandasari<sup>1</sup>, Dzulkifli<sup>2</sup>, Madlazim<sup>3</sup>

Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Email: [putrinandasari16030224008@mhs.unesa.ac.id](mailto:putrinandasari16030224008@mhs.unesa.ac.id)

### Abstrak

Negara Indonesia terletak di atas jalur pertemuan lempeng dan sesar aktif. Pergerakan pada sesar terjadi pada daerah yang relatif lebih lemah sehingga dapat mengakibatkan retakan (Sunarjo, 2010). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui arah dan posisi tegangan normal  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  dan  $\sigma_3$  di sekitar sesar Flores menggunakan *software stressinverse* dan metode diagram lingkaran Mohr. Data yang digunakan adalah data sekunder parameter bidang sesar (*strike*, *dip*, *rake*) yang didapat dari CMT IRIS *database event* gempa bumi yang kemudian diproses oleh *software stressinverse*, dihasilkan 4 gambar yaitu diagram lingkaran Mohr, bidang fokus sumbu P/T, histogram rasio bentuk, dan arah sumbu tegangan utama. Pada penelitian ini gambar hasil dari program *stressinverse* menginterpretasikan arah dan posisi tegangan normal, menggunakan metode perhitungan iteratif dan metode inversi linier yang cukup akurat digunakan ketika mengambil arah tegangan utama. Distribusi tegangan normal maksimum ( $\sigma_1$ ), intermediate ( $\sigma_2$ ), dan minimum ( $\sigma_3$ ) di sekitar sesar Flores telah ditunjukkan oleh gambar bidang fokus sumbu P/T, sedangkan arah tegangan ditunjukkan oleh gambar arah sumbu tegangan utama. Tegangan normal maksimum berada di sebelah utara sesar Flores, tegangan normal intermediate berada di sebelah barat sesar Flores, dan tegangan normal minimum berada di sekitar sesar Flores. Adanya kekurangan pada nilai rasio bentuk, dimana didapatkan rasio mendekati angka 6 yang seharusnya nilai minimalnya adalah rasio 7 dikarenakan bidang patahan yang dipilih secara acak dalam mekanisme fokus diambil dengan kurang benar. Kesulitan utama penelitian ini pada saat pengambilan data *strike*, *dip*, *rake* harus teliti dalam membaca bentuk bola fokus. Karena hal ini sangat mempengaruhi hasil dari ketidakpastian histogram rasio bentuk.

**Kata Kunci:** parameter bidang sesar, diagram lingkaran Mohr, tegangan normal.

### Abstract

Indonesia is located on the path where the plates and active faults meet. Fault movements occur in relatively weaker areas so they can cause cracks (Sunarjo, 2010). This research aims to determine the direction and position of principal stress  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$  around the Flores fault using the *stressinverse* software and Mohr's circle diagram method. The data used are secondary data of fault plane parameters (*strike*, *dip*, *rake*) obtained from CMT IRIS earthquake database which then processed by *stressinverse* software, there's 4 images are generated which is Mohr circles, P/T axes focus area, histogram and stress direction. In this study the results of the *stressinverse* program interpret the direction and position of the normal stress, using an iterative calculation method and a fairly accurate linear inversion method used when taking the direction of the principal stress. The distribution of maximum normal stress ( $\sigma_1$ ), intermediate ( $\sigma_2$ ), and minimum ( $\sigma_3$ ) around the Flores fault have been shown by the focal plane P/T axes focus area, while the stress direction is indicated by the principal stress axes direction. The maximum normal stress is to the north of the Flores fault, the intermediate normal stress is to the west of the Flores fault, and the minimum normal stress is around the Flores fault. There is a deficiency in the value of the shape ratio, where the ratio is close to 6 which should be a minimum value is the ratio 7 because the fault plane chosen randomly in the focus mechanism is taken incorrectly. The main difficulty of this research when taking *strike*, *dip*, *rake* data must be careful in reading the shape of the focal ball. Because this greatly influences the outcome of the shape ratio uncertainty histogram.

**Keywords:** fault plane parameters, Mohr's circle diagram, principal stress.

## PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara dengan angka kerawanan gempa yang tinggi di dunia (Diposaptono dkk, 2005). Kepulauan Indonesia terletak di kawasan *Zona Seismic Asia Tenggara*, dimana 80% dari wilayahnya terletak di daerah seismik yang memiliki resiko tinggi akan terjadinya gempa bumi. Salah satu penyebabnya adalah karena letak Indonesia yang berdiri diatas jalur pertemuan tiga lempeng dan sesar aktif. Lempeng tersebut antara lain, lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Eurasia (Sunarjo, 2010). Menurut Madlazim (2013) menyatakan bahwa, adanya tekanan dan regangan yang terjadi antar batas lempeng yang disebabkan oleh gerakan dari lempeng terhadap lempeng lain yang “terpendam” di batas lempeng dapat berupa energi elastis yang tersimpan. Energi tersebut akan terlepas pada batasan tertentu sehingga gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas pergerakan lempeng tektonik dapat terjadi.

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi (BMKG, 2014). Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga dampaknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. Gempa yang terjadi seringkali menimbulkan kerugian bagi masyarakat. Kerugian tersebut dapat berupa rusaknya infrastruktur, mengalami luka-luka, bahkan hingga menelan korban jiwa. Tingkat kegempaan yang ada di Indonesia dapat dilihat melalui peta zonasi gempa Indonesia.



**Gambar 1.** Peta zonasi gempa Indonesia (Kementerian pekerjaan umum, 2017)

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa negara Indonesia terletak diatas jalur pertemuan lempeng dan sesar aktif. Sesar adalah rekahan pada batuan yang diakibatkan oleh gaya dalam bumi sehingga mengalami pergerakan atau pergeseran. Pergerakan pada sesar terjadi pada daerah yang relatif lebih lemah sehingga dapat mengakibatkan retakan atau celah (Sunarjo, 2010). Mekanisme gempa bumi dapat dipengaruhi oleh pergerakan batuan yang terjadi karena aktivitas sesar. Parameter dari sesar terdiri atas:

### 1. *Strike* ( $\Phi$ )

*Strike* adalah sudut yang dibentuk oleh jurus sesar dengan arah utara yang diukur searah dengan arah jarum jam ( $0^\circ \leq \Phi \leq 360^\circ$ ).

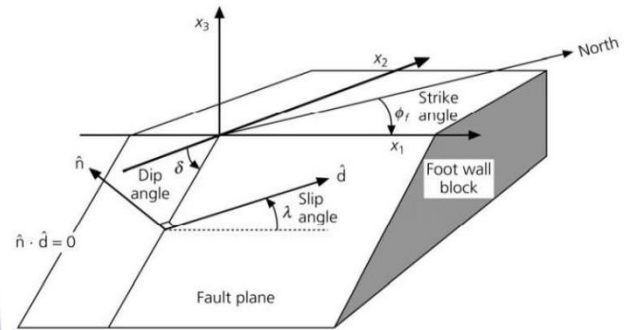
### 2. *Dip* ( $\delta$ )

*Dip* adalah sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal, dan diukur pada bidang vertikal yang arahnya tegak lurus jurus patahan ( $0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$ ).

### 3. *Rake* ( $\lambda$ )

*Rake* adalah sudut pergerakan *hanging wall* terhadap *strike* ( $-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$ ). *Rake* berharga positif untuk sesar naik dan berharga negatif untuk sesarturun.

Penentuan parameter bidang sesar dapat dilakukan seperti pada gambar 2.



**Gambar 2.** Parameter bidang sesar (Sunarjo, 2010)

Sesar Flores terdiri dari beberapa segmen, diantaranya segmen Bali sepanjang 84 KM, Lombok-Sumbawa sepanjang 310 KM, Nusa Tenggara Timur sepanjang 236 KM, dan Wetar sepanjang 216 KM (Pusgen, 2017). Pulau Bali dan Nusa Tenggara Barat merupakan daerah perbatasan yang terdapat pertemuan lempeng tektonik aktif dibawahnya. Pada Laut Bali bagian utara juga terdapat patahan sesar naik Flores atau yang biasa disebut *Flores back arc thrust* yang membentang hingga bagian utara Kepulauan Sunda Kecil yaitu Lombok-Sumbawa Nusa Tenggara Barat. Bentangan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.



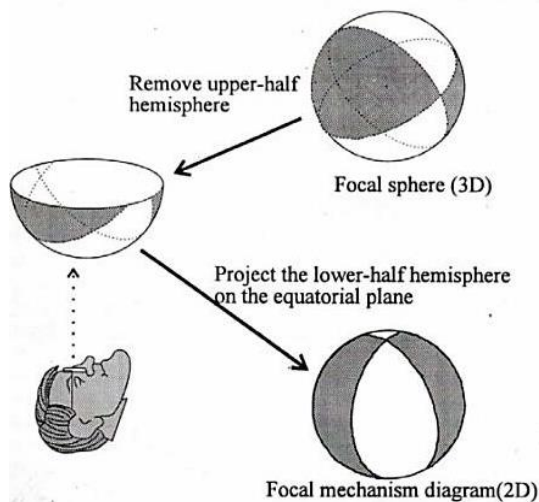
**Gambar 3.** Peta bentangan sesar Flores (Koulali dkk, 2016)

Banyaknya kajian penelitian tentang sesar Flores mengenai aktivitas tektonik dan kegempaan cukup memberikan informasi atau pengetahuan mengenai bahaya sesar tersebut. Tetapi kajian atau informasi mengenai tegangan normal pada sesar Flores masih terbatas bahkan kurang. Pengetahuan mengenai tegangan normal dapat membantu dari segi kegempaan tektonik bagi lembaga seismologi dan wawasan lebih bagi



masyarakat sekitar. Penentuan tegangan normal sangat penting dan dibutuhkan untuk mengetahui aktivitas tektonik seperti apa yang dilalui dan terjadi pada bentangan sesar tersebut. Posisi dan arah tegangan normal memberikan informasi daerah bagian mana saja yang memiliki potensi kegempaan besar yang merusak hingga memunculkan aktivitas susulan lain. Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan pada tahun 2014 oleh Taufiq, dkk yaitu *"Impact of The 2004 Sumatra-Andaman Earthquake to The Stress Heterogeneity and Seismicity Pattern in Northern Sumatra, Indonesia"*. Vavryuk tahun 2011 *"Tensile earthquakes: Theory, modeling and inversion"*. Kemudian penelitian Vavryuk pada tahun 2014 *"Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms"*.

Mekanisme fokus gempa bumi bertujuan untuk mengetahui bagaimana model atau jenis sesar dari gempa bumi yang telah terjadi dan juga parameter-parameter lainnya. Hasil dari rekaman stasiun pemantauan gempa bumi dapat dikelompokkan untuk mengetahui jenis sesar. Hasil dari rekaman tersebut berupa nilai dilatasi atau kompresi di setiap gelombang seismik pada masing-masing stasiun pemantau gempa bumi. Stasiun penerima akan menentukan nilai kompresi atau dilatasi dari gelombang-p. Untuk memudahkan dalam menginterpretasikan dilakukan dengan cara membagi bola fokus menjadi dua bagian kemudian diproyeksikan dalam bentuk dua dimensi. Proyeksi bola ini dilakukan dengan menghilangkan setengah bola bumi bagian atas pada proyeksi bola fokus 3D kemudian memproyeksikan setengah bola bumi bagian bawah pada bidang ekuatorial sehingga menjadi diagram mekanisme fokus 2D seperti pada gambar 4.

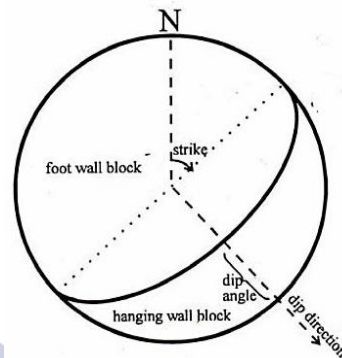


**Gambar 4.** Proyeksi bola pusat (Zawawi, 2011)

Dengan menggunakan mekanisme fokus gempa bumi dapat pula untuk menentukan parameter bidang sesar (*strike*, *dip*, *rake*). Prosedur untuk menentukan parameter bidang sesar dapat melalui langkah berikut:

### 1. Penentuan *strike* dan *dip*

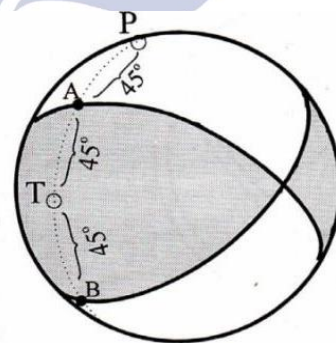
Posisi *hanging wall* disebelah kanan arah *strike* dan diukur searah jarum jam. Kemudian *Dip* diukur dengan menggunakan setengah lingkaran bagian kanan gambar 5.



**Gambar 5.** Penentuan *Strike* dan *Dip* (Zawawi, 2011)

### 2. Penentuan sumbu P dan T

Sumbu tekanan P dan tarikan T terletak pada titik  $45^\circ$  dari titik A dan B. Sumbu P berada pada kuadran dilatasi dan sumbu T berada di kuadran kompresi. Perpotongan dari dua garis nodal ditandai dengan sumbu N. Sumbu P, T, dan N ditentukan oleh sudut *azimuth* yang diukur searah jarum jam dan *plunge* yang diukur kebawah dari horizontal. Penentuan sumbu P dan T dapat dilihat pada gambar 6.



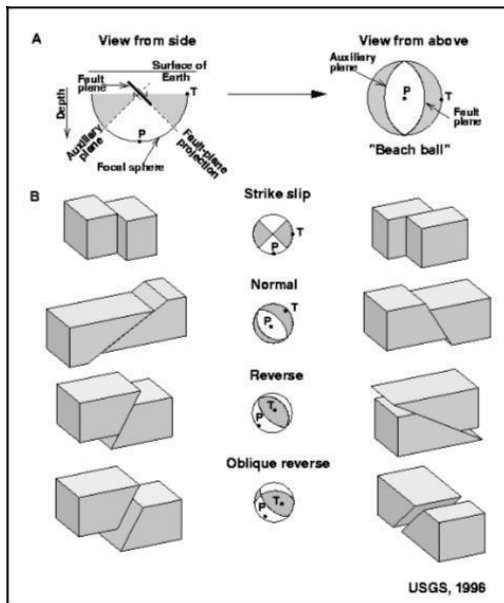
**Gambar 6.** Penentuan Sumbu P dan T (Zawawi, 2011)

Apabila hiposenter berada di kuadran kompresi (arsiran) maka sesar yang dihasilkan adalah *thrust fault* (sesar naik). Sedangkan apabila hiposenter berada di kuadran dilatasi maka sesar yang dihasilkan adalah *normal fault* (sesar turun). Jika pusat gempa berada dekat dengan dua garis nodal maka akan dihasilkan *strike slip fault* (sesar mendatar).

### 3. Penentuan *rake*

*Rake* merupakan sudut yang dibentuk antara *strike* dan vektor *dip* (pergeseran horizontal searah jurus) pada bidang sesar. Vektor slip untuk satu bidang nodal tegak lurus dengan yang lainnya sehingga

berhubungan dengan kutub vektor bidang nodal lainnya. Untuk mengidentifikasi jenis sesar dapat menggunakan perbedaan nilai *rake* ( $\lambda$ ) yang bersumber dari USGS (*United State Geological Survey*).



**Gambar 7.** Penentuan Tipe Sesar Berdasarkan *Rake* (USGS,1996)

#### ***STRESS INVERSE package: joint inversion for stress***

*Stressinverse* adalah paket perangkat lunak Matlab atau Python untuk inversi bersama yang berulang untuk orientasi tegangan dan patahan dari mekanisme fokus. Kode *Matlab* hanya membutuhkan kernel *Matlab* dan tidak ada *toolboxes* yang diperlukan. Kode *Python* yang membutuhkan modul *matplotlib*, *numpy*, *scipy* dan *os*. Inversi didasarkan pada metode Michael (1984, 1987) dan kriteria ketidakstabilan diusulkan oleh Lund & Slunga (1999). Dengan menggunakan metode diagram lingkaran Mohr akan didapatkan 4 gambar dari hasil input data yaitu diagram lingkaran Mohr dengan bidang patahan, bidang fokus sumbu P/T dengan sumbu tegangan utama yang optimal, histogram rasio bentuk, dan arah sumbu tegangan utama.

#### **Diagram Lingkaran Mohr**

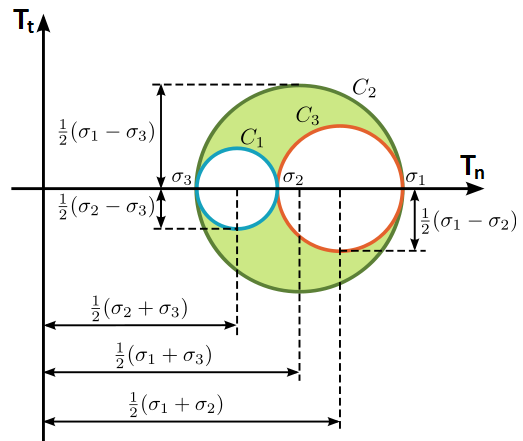
Diagram lingkaran Mohr, metode grafis untuk mempelajari tegangan. Tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada sembarang bidang dapat ditentukan dengan menggambar sebuah lingkaran Mohr. Interpretasi grafik dari diagram lingkaran Mohr dapat membantu dalam memahami kondisi tegangan, dalam pembahasan ini untuk tegangan dan regangan dua dimensi. Terdapat tiga persamaan yang digunakan yaitu:

$$1. \left(T_n - \frac{\sigma_{22} + \sigma_{33}}{2}\right)^2 + T_t^2 \geq \left(\frac{\sigma_{22} - \sigma_{33}}{2}\right)^2 \quad (1)$$

$$2. \left(T_n - \frac{\sigma_{33} + \sigma_{11}}{2}\right)^2 + T_t^2 \geq \left(\frac{\sigma_{33} - \sigma_{11}}{2}\right)^2 \quad (2)$$

$$3. \left(T_n - \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22}}{2}\right)^2 + T_t^2 \geq \left(\frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{2}\right)^2 \quad (3)$$

Ketiga persamaan tersebut merupakan bentuk persamaan lingkaran pada bidang yang pusatnya di jari-jari. Jika ketiga persamaan tersebut digambarkan didalam bidang Mohr dalam bentuk 3 buah lingkaran maka gambar yang akan muncul adalah seperti dibawah ini.



**Gambar 8.** Dia gram Mohr (Soetomo, 2013)

Keterangan:

1. Lingkaran C1 merupakan hasil dari persamaan pertama. Solusi lingkaran C1 ada diluar lingkaran tersebut.
2. Lingkaran C2 merupakan hasil dari persamaan kedua. Solusi lingkaran C2 ada didalam lingkaran tersebut.
3. Lingkaran C3 merupakan hasil dari persamaan ketiga. Solusi lingkaran C3 ada diluar lingkaran tersebut.

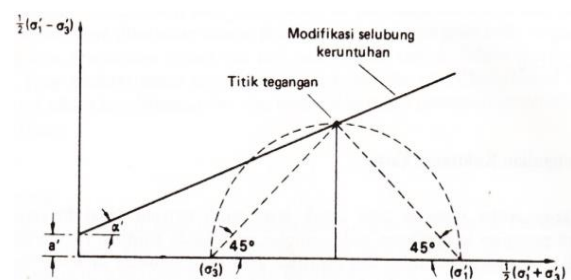
Dimana daerah yang berarsir hijau merupakan daerah solusi tegangan normal dan geser (Soetomo, 2013).

#### **Tegangan Normal**

Tegangan normal disebabkan oleh beban atau gaya aksial. Tegangan normal merupakan tegangan pada bidang yang tegak lurus dengan arah gayanya.

$$\sigma = F/A \quad (4)$$

Pengertian pada rumus tersebut merupakan tegangan rata-rata disemua titik-titik pada penampang A, bukan tegangan di suatu titik pada penampang A. Dimana pada umumnya tegangan di suatu titik tidak sama dengan tegangan rata-rata. Berikut adalah alternatif yang diberikan untuk memperlihatkan setiap kondisi tegangan.



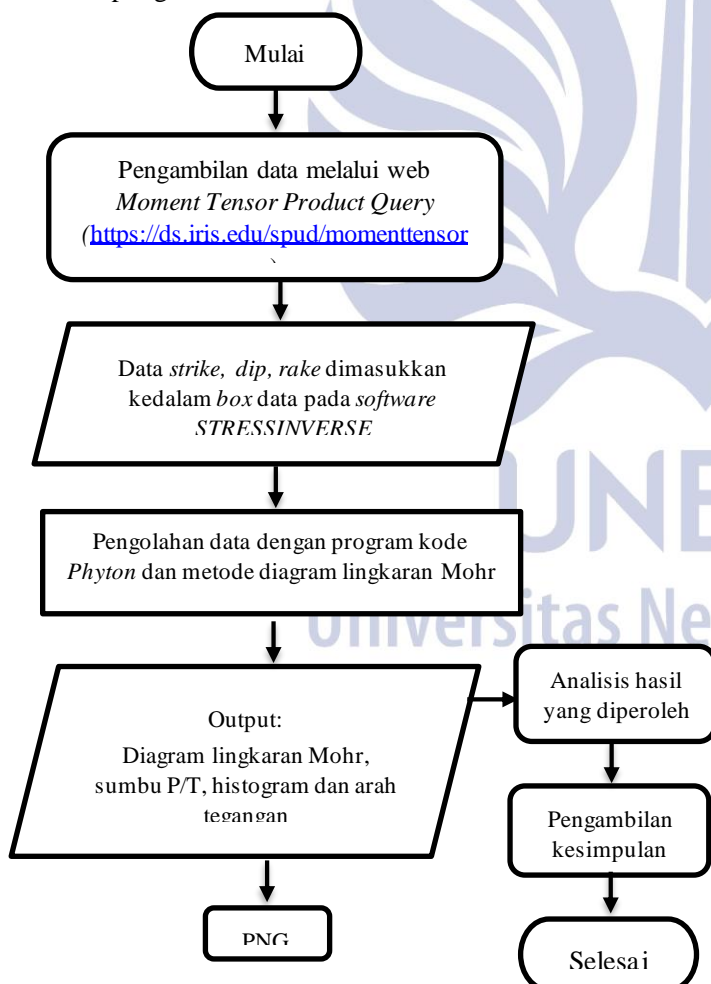
**Gambar 9.** Alternatif yang Menggambarkan Kondisi Tegangan (RF. Craig, 1997)

Dengan memperhatikan sistematika pendahuluan, maka penelitian ini bertujuan Menghasilkan posisi dan arah tegangan normal  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , dan  $\sigma_3$ . Metode yang digunakan adalah metode diagram lingkaran Mohr dan *Stress Joint Inversion*. Hasil yang didapatkan berupa gambar, yaitu gambar diagram lingkaran Mohr, sumbu P/T, histogram, dan arah tegangan.

## METODE

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian penerapan berbasis komputasi menggunakan *software stressinverse*. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder yang didapat dari CMT IRIS *database event* gempa bumi. Dengan menggunakan metode diagram lingkaran Mohr untuk mengetahui posisi dan arah orientasi tegangan dari beberapa data gempa yang terjadi di sekitar sesar Flores dalam kurun waktu tertentu. Data gempa bumi yang digunakan dapat di unduh melalui web *Moment Tensor Product Query* (<https://ds.iris.edu/spud/momenttensor>).

Data gempa bumi yang telah didapatkan kemudian diolah menggunakan *software stressinverse* dan program kode *Python*. Dibawah ini merupakan skema diagram alur pengolahan data.



**Gambar 10.** Skema diagram alur dalam pengolahan data menggunakan *software stressinverse*

## Variabel Operasional Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini ada tiga macam yaitu variabel manipulasi, variabel kontrol dan variabel respon. Variabel manipulasi dalam penelitian ini adalah parameter bidang sesar (*strike, dip, rake*) event gempa. Sedangkan variabel kontrolnya adalah *software stressinverse*, model kecepatan gempa 1 dimensi, lokasi penelitian yaitu sesar Flores, waktu kejadian gempa sejak tahun 2002 hingga 2020 dan event gempa bumi yang terjadi di sekitar sesar Flores mencakup bagian Bali dan Nusa Tenggara. Kemudian untuk variabel responnya yaitu gambar diagram lingkaran Mohr, sumbu P/T posisi tegangan, histogram, dan arah tegangan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah sejumlah data dari parameter bidang sesar yang diambil dari IRIS *database*. Data parameter bidang sesar yang diambil secara acak dengan rentan waktu sejak tahun 2002 hingga 2020. Sejumlah data yang diambil secara acak disesuaikan dengan daerah penelitian yaitu di sekitar bentangan sesar Flores.

**Tabel 1.** Data parameter bidang sesar (*strike, dip, rake*)

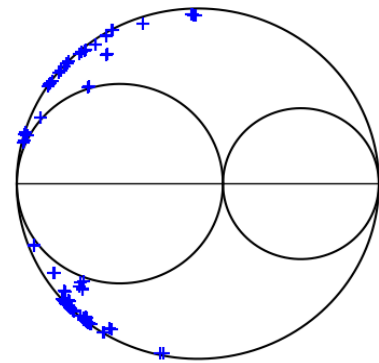
No	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Ket.
1.	277	30	81	NP1
	107	60	95	NP2
2.	241	33	77	NP1
	76	58	98	NP2
3.	65	38	81	NP1
	257	53	97	NP2
4.	20	45	68	NP1
	229	49	110	NP2
5.	233	20	62	NP1
	83	73	100	NP2
6.	198	13	62	NP1
	46	79	96	NP2
7.	263	21	80	NP1
	93	69	94	NP2
8.	260	23	81	NP1
	90	68	94	NP2
9.	254	23	71	NP1
	95	68	98	NP2
10.	90	25	114	NP1
	243	67	79	NP2
11.	108	28	123	NP1
	252	67	74	NP2
12.	301	10	135	NP1
	75	83	83	NP2
13.	73	20	104	NP1
	238	71	85	NP2
14.	73	20	104	NP1
	238	71	85	NP2
15.	0	29	67	NP1
	215	64	102	NP2
16.	146	18	93	NP1



	322	72	89	NP2
17.	79	22	108	NP1
	239	69	83	NP2
18.	97	25	102	NP1
	264	65	85	NP2
19.	246	10	120	NP1
	36	82	85	NP2
20.	70	25	82	NP1
	259	65	94	NP2
21.	82	25	90	NP1
	262	65	90	NP2
22.	139	25	148	NP1
	259	77	68	NP2
23.	88	22	111	NP1
	246	69	82	NP2
24.	126	26	143	NP1
	250	75	69	NP2
25.	96	21	103	NP1
	262	70	85	NP2
26.	90	21	96	NP1
	264	69	88	NP2
27.	301	34	126	NP1
	81	63	69	NP2
28.	93	23	99	NP1
	264	68	86	NP2
29.	91	26	109	NP1
	251	65	81	NP2
30.	267	31	88	NP1
	90	59	90	NP2
31.	265	26	79	NP1
	97	65	95	NP2
32.	334	33	100	NP1
	143	58	84	NP2
33.	271	27	110	NP1
	69	65	80	NP2
34.	116	25	133	NP1
	249	72	72	NP2
35.	179	23	145	NP1
	302	77	71	NP2
36.	275	29	94	NP1
	90	61	88	NP2
37.	91	29	104	NP1
	255	62	82	NP2
38.	79	45	81	NP1
	272	46	99	NP2
39.	112	34	135	NP1
	242	67	65	NP2
40.	145	35	113	NP1
	298	59	75	NP2
41.	230	21	62	NP1
	79	72	100	NP2

*stressinverse* di sekitar sesar Flores setelah diberi masukan program kode *python3*.

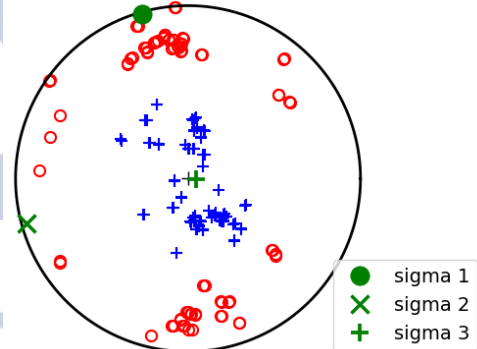
Mohr circle diagram



**Gambar 11.** Dia gram Lingkaran Mohr

Interpretasi dari diagram lingkaran Mohr dapat membantu dalam memahami kondisi tegangan untuk tegangan dua dimensi. Pada gambar 11 menjelaskan diagram lingkaran Mohr dengan posisi sesar. Posisi tersebut sesuai dengan kaidah atau persamaan 2 dari diagram Mohr dimana lingkaran terbesar disebut lingkaran C2 dan merupakan daerah solusi dari dua lingkaran yang lain (Soetomo, 2013).

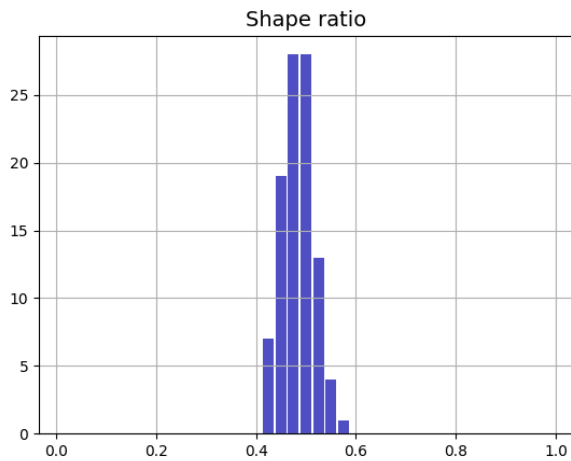
Principal stress and P/T axes



**Gambar 12.** Tegangan utama dan sumbu P/T

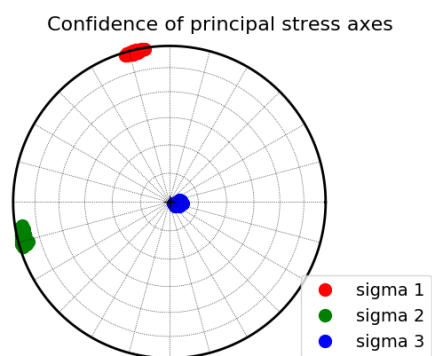
Gambar 12 menjelaskan sumbu P/T dengan arah tegangan utama. Sumbu P ditandai oleh lingkaran berwarna merah dan sumbu T ditandai oleh tanda pertambahan berwarna biru. Sesuai dengan keterangan yang ada pada gambar tegangan utama  $\sigma_1$  ditandai dengan gambar lingkaran berwarna hijau,  $\sigma_2$  ditandai dengan persilangan berwarna hijau, dan  $\sigma_3$  ditandai dengan penjumlahan berwarna hijau. Pada gambar tersebut terlihat persebaran sumbu P dan sumbu T secara acak karena pengambilan data parameter bidang sesar melalui CMT IRIS juga diambil secara acak pada kejadian atau *event* gempa yang terjadi di daerah penelitian yaitu sekitar sesar Flores.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut ini adalah hasil dan pembahasan terkait dari pengolahan data *strike*, *dip*, *rake* menggunakan *software*



**Gambar 13.** Histogram rasio bentuk

Nilai akurat dari rasio bentuk dapat dihitung dengan inversi bersama iteratif untuk orientasi tegangan dan patahan. Dalam inversi ini, batasan ketidakstabilan patahan diterapkan dan patahan diidentifikasi dengan bidang nodal yang lebih tidak stabil dan dengan demikian lebih rentan terhadap gangguan (Vavryuk, 2014). Histogram rasio bentuk digunakan untuk menentukan distribusi rasio bentuk yang dihitung menggunakan metode Michael dan iteratif. Pada kali ini nilai yang dihasilkan berada pada angka mendekati 6 (gambar 13), dimana hasil minimal yang seharusnya adalah 7. Hal ini dikarenakan bidang patahan yang dipilih secara acak dalam mekanisme fokus tidak dipilih dengan benar.



**Gambar 14.** Batas kepercayaan arah tegangan utama

Gambar 14 merupakan batas kepercayaan arah tegangan utama. Arah tegangan utama ditentukan dengan akurasi yang sama terlepas dari apakah patahan dipilih secara acak dari bidang nodal. Dengan melihat keterangan yang ada di gambar bahwa warna merah, hijau dan biru masing-masing sesuai dengan arah tegangan  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  dan  $\sigma_3$ . Pada gambar 14 dapat dilihat untuk arah dari tegangan normal masing-masing adalah tegangan normal maksimum berada di sebelah utara sesar Flores, tegangan normal intermediate berada di sebelah barat sesar Flores, dan tegangan normal minimum berada di sekitar sesar Flores

Pada penelitian ini arah dan posisi tegangan normal diinterpretasikan oleh hasil gambar-gambar dari pengolahan data menggunakan *software stressinverse*.

## KESIMPULAN

Distribusi posisi tegangan normal maksimum ( $\sigma_1$ ), tegangan normal intermediate ( $\sigma_2$ ), dan tegangan normal minimum ( $\sigma_3$ ) di sekitar sesar Flores ditunjukkan oleh tegangan utama dan sumbu P/T (gambar 12). Sedangkan arahnya ditunjukkan oleh batas kepercayaan tegangan utama (gambar 14). Tegangan normal maksimum berada di sebelah utara sesar Flores, tegangan normal intermediate berada di sebelah barat sesar Flores, dan tegangan normal minimum berada di sekitar sesar Flores. Nilai histogram rasio bentuk yang dihasilkan berada pada angka mendekati 6, dimana hasil minimal yang seharusnya adalah 7. Hal ini dikarenakan bidang patahan yang dipilih secara acak dalam mekanisme fokus tidak dipilih dengan benar.

## SARAN

Dengan mempertimbangkan semua faktor kesulitan pada saat pengumpulan dan pengolahan data, maka penulis menyarankan pada saat pengambilan data parameter bidang sesar harus dilakukan dengan teliti saat mengamati bentuk bola focal dan jumlah pengambilan nodal plane yang akan digunakan. Karena hal ini akan sangat mempengaruhi hasil gambar yang muncul terutama untuk gambar histogram rasio bentuk.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada dosen pembimbing dan penguji artikel ini serta kepada IRIS yang telah menyediakan data CMT di <https://ds.iris.edu/spud/momenttensor>. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Vavryuk, V yang telah mengizinkan menggunakan *software stressinverse*.

## DAFTAR PUSTAKA

- BMKG. (2014). "Pengertian Gempa Bumi" Balai Besar Wilayah III Denpasar. BMKG.
- Daryono. (2012). Identifikasi Sesar Naik Belakang Busur (Back Arc Thrust) Daerah Bali Berdasarkan Seismisitas dan Solusi Bidang Sesar. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- Diposaptono, S. dan Budiman. (2005). Tsunami. Buku Ilmiah Populer, Bogor, 125 hlm.
- Kementrian Pekerjaan Umum. (2017). Peta Zonasi Gempa Indonesia.
- Koulali, A., McClusky, S., Susilo, S., Leonard, Y., Cummins, P., Tregoning, P., & Wijanarto, A. B. (2017). The kinematics of crustal deformation in Java from GPS observations: Implications for fault slip partitioning. *Earth and Planetary Science Letters*, 458, 69-79
- Lund B and Slunga R. (1999). Stress Tensor Inversion Using Detailed Microearthquake

- Information and Stability Constrains: Application to Olfus in Southwest Iceland J. *Geophys. Res.* 104 14.947-14.96
- Madlazim. (2013). Kajian Awal Tentang b Value Gempa Bumi di Sumatra Tahun 1964-2013. *Jurnal ISSN*, Vol 3. No 1.
- Pusat Studi Gempa Nasional, 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017.
- R. F. Craig. (1997). *Soil Mechanics: Sixth Edition*. Spoon Press.
- Soetomo, James. (2013). *Persamaan Lingkaran Mohr Pada Problem General*. Jakarta
- Sunarjo, dkk. (2010). *Gempa Bumi Edisi Populer*. Jakarta. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta
- Widodo, Pa wirodikromo. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Jakarta. Pustaka Belajar.
- Vavrycuk, V. (2011). Tensile earthquakes: Theory, modeling and inversion. *Geophys. J. Int.*
- Vavrycuk, V. (2014). Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms. *Geophys. J. Int.*, 199, 69-77.
- Zawawi, Ahmad. 2011. "Analisis Mekanisme Pusat Gempa Bumi Di Cilacap Jawa Tengah Pada Tanggal 04 April 2011" Skripsi. Jakarta. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatull

