

ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN NORMAL GEMPA BUMI DI SEKITAR SESAR SORONG-YAPEN (PAPUA) MENGGUNAKAN METODE INVERSI TEGANGAN

Kharisma Fitrotul Ummah, Madlazim

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

Email: kharisma.17030224031@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Akibat adanya pertemuan tiga lempeng tektonik dunia, Indonesia memiliki tingkat aktivitas tektonik yang tinggi. Aktivitas tektonik suatu wilayah tidak dapat diprediksi. Dalam upaya mitigasi bencana geologi digunakan teknik inversi tegangan diagram lingkaran Mohr untuk mengetahui distribusi posisi dan arah tegangan normal (σ_1 , σ_2 , dan σ_3) di sekitar sesar Sorong-Yapen menggunakan *software stressinverse*. Data yang digunakan adalah 53 data sekunder parameter bidang sesar (*strike, dip, rake*) yang didapat dari CMT IRIS *database event* gempa bumi. Untuk memperoleh hasil gambar diagram lingkaran Mohr, sumbu P/T, histogram rasio bentuk, dan arah tegangan utama, parameter bidang sesar di *input* ke dalam *software stressinverse*. Hasil gambar yang didapat merupakan representasi dari posisi dan arah tegangan normal. Distribusi posisi tegangan normal maksimum (σ_1), intermediet (σ_2), dan minimum (σ_3) ditunjukkan oleh gambar sumbu P/T, sedangkan arah tegangan normal ditunjukkan oleh gambar arah tegangan utama. Tegangan normal maksimum berada di sebelah utara timur laut (UTL) sesar Sorong-Yapen, tegangan normal intermediet berada di sekitar sesar Sorong-Yapen, dan tegangan normal minimum berada di sebelah barat barat laut (BBL) sesar Sorong-Yapen. Nilai histogram rasio bentuk yang didapat mendekati angka 0,8. Menurut teori nilai maksimum dari rasio bentuk adalah 1 dan nilai minimum adalah 0,7. Membuktikan bahwa nilai dari rasio bentuk pada penelitian ini sesuai dengan teori yang ada.

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

Abstract

Due to the meeting of three tectonic plates in the world, Indonesia has a high degree of tectonic activity. A region's tectonic activity is unpredictable. The Mohr circle diagram stress inversion technique is used in geological disaster mitigation efforts to assess the position distribution and direction of normal stresses (σ_1 , σ_2 , and σ_3) around the Sorong-Yapen fault using *stressinverse* software. The data used were 53 secondary data of fault plane parameters (*strike, dip, rake*) obtained from the CMT IRIS earthquake event database. To obtain image of the Mohr circle diagram, the P/T axis, the shape ration histogram, and the principal stress direction, the fault plane parameters are entered into *stressinverse* software. The image that results depicts the positions and direction of normal stresses. The P/T axis image depicts the distribution of maximum (σ_1), intermediate (σ_2), and minimum (σ_3) normal stress positions, while the main stress direcion image depicts the normal stress direction. The maximum normal stress is to the north-northeast (NNE) of the Sorong-Yapen fault, the intermediate normal stress is around the Sorong-Yapen fault, and the minimum normal stress is to the west-northwest (NWN) of the Sorong-Yapen fault. The shape ratio histogram obtained has a value that is similar to 0,8. According to the theory, the shape ratio has a maximum value of 1 and a minimum value of 0,7. It demonstrates that the shape ratio value in this study is compatible with current theory.

Keywords: normal stress, fault plane parameters, stress inversi, Mohr's circle diagram.

PENDAHULUAN

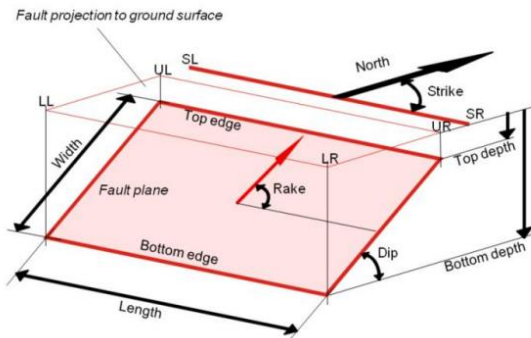
Indonesia merupakan negara kepulauan dengan tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi. Terletak pada persimpangan tiga lempeng tektonik dunia yang sangat aktif (Simandjuntak *et al.*, 2015). Ketiga lempeng tersebut antara lain lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Hindia-Australia yang bergerak saling mendesak satu sama lain (Lunga *et al.*, 2015). Pertemuan ketiga lempeng tektonik tersebut menyebabkan munculnya fenomena gunung api dan gempa bumi diseluruh wilayah Indonesia.

Kejadian gempa bumi merupakan akibat dari pelepasan energi yang terjadi pada batuan yang di akibatkan oleh adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*) secara terus-menerus (Linda *et al.*, 2019).

Ketika daya tahan batuan tersebut mencapai batas maksimum maka akan terjadi pergeseran dan akhirnya terjadi patahan secara tiba-tiba (Siwi *et al.*, 2020). Semakin tinggi kekuatan batuan dalam menahan tekanan maka semakin besar energi yang dilepaskan. Semakin besar magnitudo gempa maka makin besar percepatan pergerakan tanah (Lowrie, 2007).

Sesar merupakan suatu bidang rekahan pada batuan yang memungkinkan terjadinya pergerakan tanah relative satu sama lain (Murti dan Nurhasan, 2016). Sesar memiliki parameter yang terdiri dari *strike, dip*, dan *rake*. *Strike* adalah sudut yang digunakan untuk menentukan orientasi patahan dan diukur searah jarum jam dari arah utara ($0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$). *Dip* adalah sudut yang menggambarkan kecuraman permukaan patahan

yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal, dan diukur dari permukaan bumi atau paralel bidang patahan ke permukaan bumi ($0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$). Rake adalah parameter yang menggambarkan pergerakan dan diukur pada permukaan patahan ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$). Rake bernilai positif untuk sesar naik dan bernilai negatif untuk sesar turun. (Madlazim, 2015)



Gambar 2. Parameter bidang sesar. (Febyani *et al.*, 2020)

Papua termasuk wilayah Indonesia yang memiliki kondisi tektonik kompleks dan memiliki sistem pensesaran yang cukup banyak. Beberapa patahan yang terdapat di wilayah Papua antara lain YFZ (Yapen Fault Zone), MTB (Mamberamo Thrust Belt), NGT (New Guinea Trench), WFTB (Western (Irian) Fold and Thrust Belt), LFZ (Lowlands Fault zone), WTB (Weyland Thrust Belt), BTFZ (Bewani-Torricelli Fault Zone), dll (Baldwin, 2012).



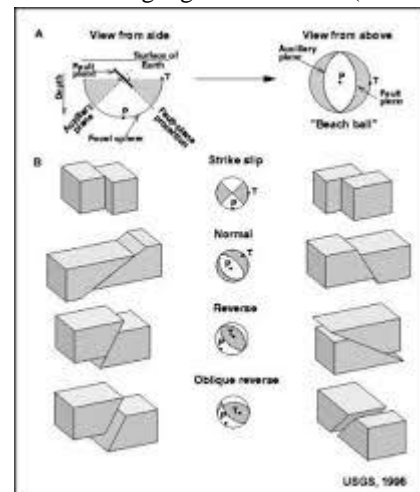
Gambar 3. Tatanan tektonik wilayah Papua. (Baldwin, 2012)

Zona sesar Sorong-Yapen merupakan zona gerusan (Shear Zone) batas lempeng Indo-Australia dan Pasifik yang memanjang ke arah barat-timur selebar 300 km (Irsyam *et al.*, 2017). Zona sesar Sorong-Yapen (SYFZ) membentang di bagian utara wilayah Papua dari Sorong hingga Yapen menjalar ke arah timur sampai bertumbukan dengan sesar Mamberamo. Sesar Sorong di sebelah barat dan sesar Yapen di sebelah timur (Dow, 1977). Sesar Sorong-Yapen memiliki jenis patahan *strike-slip left-lateral* menurut beberapa peneliti terdahulu seperti (Dow and Sukanto, 1983; Mccaffrey, 1988; memmo *et al.*, 2013; Ikhwanudin and Abdullah,

2015; Setyorini *et al.*, 2020).

Aktivitas tektonik memang tidak dapat diprediksi, namun dengan kemajuan ilmu pengetahuan saat ini setidaknya mampu mengurangi dampak gempa bumi sekecil mungkin. Untuk saat ini banyak kajian penelitian mengenai aktivitas tektonik dan kegempaan, termasuk aktivitas tektonik di wilayah Papua. Akan tetapi kajian penelitian mengenai tegangan normal pada sesar Sorong-Yapen masih terbatas. Penentuan tegangan normal mampu untuk mengetahui aktivitas tektonik yang dilalui dan terjadi pada sesar tersebut. Daerah dengan potensi kegempaan tinggi hingga munculnya aktivitas gempa susulan dapat diketahui dengan analisis posisi dan arah tegangan normal. Kajian penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh para ahli seperti (Vavryuk, 2011 & 2014; Forrikova and Vavryuk, 2018; Elenean, 2003).

Mekanisme fokus gempa bumi adalah salah satu cara untuk menunjukan bidang patahan dan arah pergerakan gempa bumi. Mekanisme fokus diperoleh dari solusi momen tensor gempa bumi dan observasi polaritas gerakan awal gelombang P. Mekanisme fokus bertujuan untuk menentukan jenis sesar berdasarkan bidang nodal. (Fajriani, 2018). Solusi momen tensor ditampilkan secara grafik menggunakan diagram *beach ball*. Diagram *beach ball* adalah proyeksi stereografik yang menunjukkan dua kuadran hitam dan dua kuadran putih. Kuadran hitam merupakan sumbu tegangan (T) yang mencerminkan arah tegangan minimum, dan kuadran putih merupakan sumbu tekanan (P) yang mencerminkan arah tegangan maksimum (Cronin, 2004).



Gambar 3. Tipe sesar berdasarkan rake

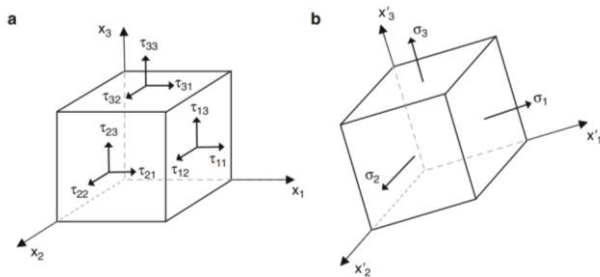
STRESSINVERSE package: joint inversion for stress

Stressinverse adalah sebuah paket perangkat lunak *Matlab* atau *Python* untuk inversi gabungan berulang untuk orientasi tegangan dan patahan dari mekanisme fokus. Kode *Matlab* hanya membutuhkan karnel *Matlab* tidak perlu *toolboxes*. Kode *Python* membutuhkan modul *matplotlib*, *numpy*, *scipy*, dan *os*. Inversi

didasarkan pada metode Michael (1984, 1987) dan kriteria ketidakstabilan diusulkan oleh Lund & Slunga (1999) (Vavrycuk, 2019). Dengan menggunakan metode diagram lingkaran Mohr dan kriteria patahan digunakan untuk menemukan ketidakstabilan patahan, patahan utama, dan mekanisme fokus utama (Vavrycuk, 2015).

Tegangan (stress)

Stress didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada bidang permukaan dalam suatu benda atau objek (Gambar 4a). Ada dua jenis gaya yang bekerja dalam suatu objek yaitu *body force* dan *surface force*. *Body force* bekerja dimanapun objek yang akan menghasilkan gaya total sebanding dengan volume objek. *Surface force* bekerja pada permukaan objek dan menghasilkan gaya total sebanding dengan luas permukaan objek. (Stein and Wysession, 2005).



Gambar 4. (a) koordinat cartesian tensor tegangan, dan (b) rotasi arah tegangan utama. (Vavrycuk, 2015)

Nilai dari komponen tensor tegangan bergantung pada sistem koordinat, dimana komponen tersebut diukur. Tensor tegangan menyatakan traksi T yang bekerja pada permukaan. T adalah komponen vektor dari tiga traksi pada permukaan yang normalnya adalah n. Dimana n adalah arah komponen geser τ dan terletak di permukaan σ .

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \tag{1}$$

Dimana σ_1, σ_2 , dan σ_3 disebut tegangan normal maksimum, intermediet, dan minimum. (Vavrycuk, 2015)

Diagram Lingkaran Mohr

Diagram lingkaran Mohr adalah metode grafik yang digunakan untuk menghitung tegangan. Besaran tegangan normal (T_n) dan tegangan geser (T_t) yang bekerja pada bidang patahan dapat ditentukan dengan membuat diagram lingkaran Mohr. (Elenean, 2003)

Komponen tegangan dalam bidang Mohr adalah normal (T_n) dan tegangan geser (τ).

$$T_n = \sigma_1 n_1^2 + \sigma_2 n_2^2 + \sigma_3 n_3^2 \tag{2}$$

$$T_t^2 = \sigma_1^2 n_1^2 + \sigma_2^2 n_2^2 + \sigma_3^2 n_3^2 - T_n^2 \tag{3}$$

Dimana

$$n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = 1 \tag{4}$$

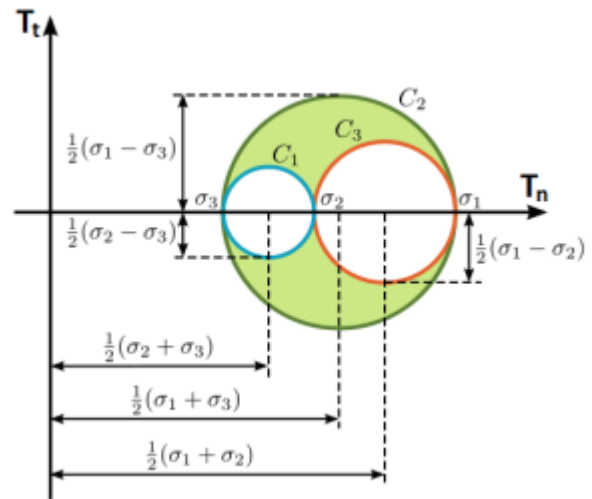
Jika tegangan utama σ_1, σ_2 dan σ_3 tetap, maka tegangan normal (T_n) dan geser (T_t) hanyalah fungsi normal (n) dari suatu gangguan dan dapat diplot dalam diagram lingkaran Mohr (Gambar 5)

$$T_n = T_t \times n \tag{5}$$

Dimana variabel n adalah variabel yang dicari dengan mensubstitusikan persamaan (2) dan (3) ke persamaan (5). Dengan mengangap bahwa nilai n adalah nol atau positif akan didapat persamaan berikut:

1. $(T_n - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2})^2 + T_t^2 \geq (\frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2})^2$
2. $(T_n - \frac{\sigma_3 + \sigma_1}{2})^2 + T_t^2 \geq (\frac{\sigma_3 + \sigma_1}{2})^2$
3. $(T_n - \frac{\sigma_3 + \sigma_2}{2})^2 + T_t^2 > (\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2})^2$ (6)

Persamaan (6) merupakan bentuk persamaan lingkaran pada bidang yang pusatnya di jari-jari. Jika ketiga persamaan tersebut digambarkan dalam bidang Mohr maka gambar yang akan muncul seperti dibawah ini.



Gambar 5. Diagram Lingkaran Mohr. (Soetomo, 2013)

Keterangan :

1. Hasil dari persamaan 1 digambarkan oleh lingkaran C₁, solusi dari lingkaran C₁ ada diluar lingkaran tersebut.
2. Hasil dari persamaan 2 digambarkan oleh lingkaran C₂, solusi dari lingkaran C₂ ada di dalam lingkaran tersebut.
3. Hasil dari persamaan 3 digambarkan oleh C₃, solusi dari C₃ ada diluar lingkaran tersebut.

Dimana daerah berwarna hijau merupakan daerah solusi tegangan normal dan sesar. (Soetomo, 2013)

Proses rekahan selalu berhubungan dengan medan tegangan. Patahan disebabkan oleh tegangan yang kemudian mengakibatkan friksi sehingga terjadi gempa bumi. Teknik inversi digunakan dalam penelitian ini

untuk menentukan parameter medan tegangan dari solusi mekanisme fokus gempa bumi. Metode ini memungkinkan untuk menentukan arah tegangan serta estimasi terkait solusi kegagalan. Diagram lingkaran Mohr dan kriteria ketidakpastian dijelaskan dan digunakan untuk menentukan ketidakstabilan patahan, patahan utama, dan mekanisme fokus utama.

METODE

Setiap wilayah memiliki aktivitas tektonik yang berbeda. Tegangan tektonik di zona fokus diketahui dengan *software Stressinverse* menggunakan data mekanisme fokus bidang patahan sebanyak 53 peristiwa gempa bumi dari tahun 2000-2020 yang didapat dari website katalog gempa bumi CMT IRIS (<https://ds.iris.edu/spud/momenttensor>).

Tiga variabel operasional dalam penelitian ini adalah variabel manipulasi, variabel kontrol, dan variabel respons. Variabel manipulasi adalah parameter bidang sesar (*strike, dip, rake*) event gempa bumi yang didapat dari katalog gempa bumi CMT IRIS database. Sedangkan variabel kontrol adalah lokasi penelitian yaitu di wilayah Papua, jumlah event gempa bumi, *software Stressinverse*. Variabel respons adalah gambar diagram lingkaran Mohr, sumbu P/T posisi tegangan, arah tegangan, dan histogram rasio bentuk.

Dengan bantuan software Stressinverse dan kode program Python, plot data dan analisis dilakukan untuk mengetahui posisi dan arah distribusi tegangan normal. Dengan asumsi bahwa tegangan tektonik seragam (homogen) di suatu wilayah (Vavrycuk, 2014).

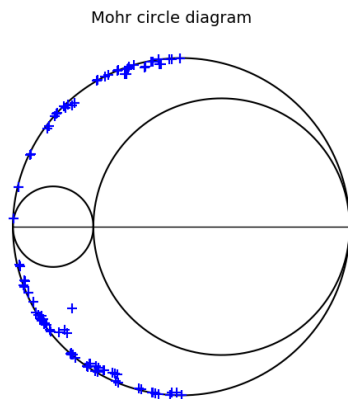
Tabel 1. Parameter bidang sesar (*strik, dip, rake*) event gempa disekitar sesar Sorong-Yapen periode 2000-2020.

No.	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	NP
1	334	84	176	NP 1
	64	87	6	NP 2
2	66	77	8	NP 1
	334	82	167	NP 2
3	44	71	2	NP 1
	313	88	161	NP 2
4	74	67	8	NP 1
	341	82	157	NP 2
5	240	83	180	NP 1
	330	90	7	NP 2
6	161	70	-167	NP 1
	67	78	-20	NP 2
7	69	76	8	NP 1
	337	82	166	NP 2
8	319	72	175	NP 1
	51	85	18	NP 2
9	116	86	3	NP 1
	26	87	176	NP 2
10	161	80	-179	NP 1
	70	89	-10	NP 2
11	135	74	-178	NP 1
	44	88	-16	NP 2

12	146	85	176	NP 1
	237	86	5	NP 2
13	84	67	-1	NP 1
	175	89	-157	NP 2
14	56	61	-14	NP 1
	153	78	-150	NP 2
15	44	59	-6	NP 1
	137	85	-148	NP 2
16	78	71	-17	NP 1
	174	74	-160	NP 2
17	344	81	178	NP 1
	74	88	9	NP 2
18	71	78	-4	NP 1
	162	86	-168	NP 2
19	144	73	-166	NP 1
	50	77	-18	NP 2
20	303	72	171	NP 1
	36	81	18	NP 2
21	56	83	5	NP 1
	325	85	173	NP 2
22	41	68	-4	NP 1
	132	86	-158	NP 2
23	74	69	-16	NP 1
	170	75	-158	NP 2
23	82	84	2	NP 1
	352	88	174	NP 2
25	72	71	-16	NP 1
	167	75	-160	NP 2
26	259	84	-1	NP 1
	350	89	-174	NP 2
27	184	78	174	NP 1
	276	84	12	NP 2
28	86	83	2	NP 1
	356	88	173	NP 2
29	5	73	178	NP 1
	95	88	17	NP 2
30	2	82	-173	NP 1
	271	83	-8	NP 2
31	81	74	11	NP 1
	348	79	164	NP 2
32	33	68	-3	NP 1
	124	87	-158	NP 2
33	41	77	-7	NP 1
	132	83	-167	NP 2
34	42	76	-9	NP 1
	135	81	-166	NP 2
36	110	89	180	NP 1
	200	90	1	NP 2
36	60	83	4	NP 1
	329	86	173	NP 2
37	235	88	1	NP 1
	145	89	178	NP 2
38	146	85	176	NP 1
	237	86	5	NP 2
39	104	77	-1	NP 1
	194	89	-167	NP 2
40	308	86	-1	NP 1
	38	89	-176	NP 2
41	71	78	-4	NP 1
	162	86	-168	NP 2
42	130	90	0	NP 1
	220	90	-180	NP 2

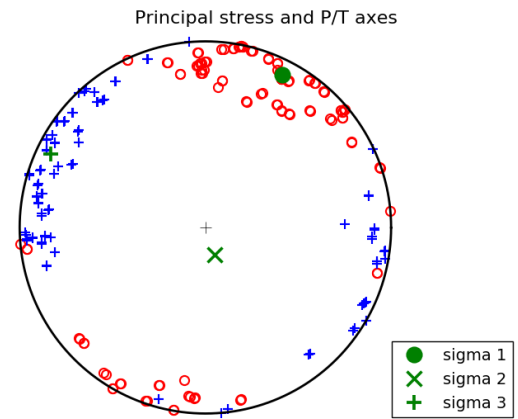
43	51	78	6	NP 1
	319	84	168	NP 2
44	54	81	5	NP 1
	323	85	171	NP 2
45	42	80	1	NP 1
	312	89	170	NP 2
46	332	80	-172	NP 1
	241	82	-10	NP 2
47	230	75	1	NP 1
	139	89	165	NP 2
48	96	81	0	NP 1
	6	90	171	NP 2
49	93	80	-7	NP 1
	185	83	-170	NP 2
50	95	80	7	NP 1
	4	83	170	NP 2
51	165	90	-180	NP 1
	255	90	0	NP 2
52	123	75	179	NP 1
	213	89	15	NP 2
53	184	78	174	NP 1
	276	84	12	NP 2

HASIL DAN PEMBAHASAN



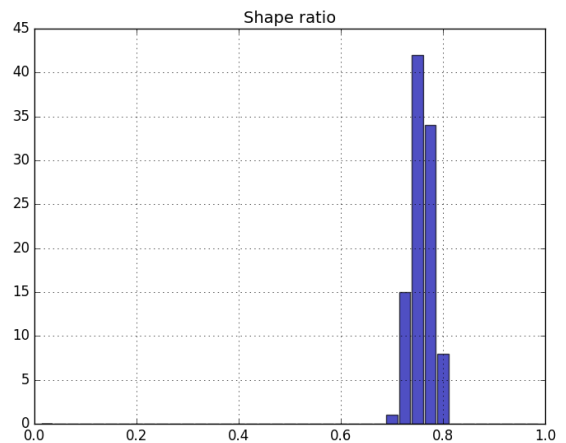
Gambar 6. Diagram lingkaran Mohr.

Dari gambar 6 menjelaskan bahwa posisi tersebut sesuai dengan kaidah atau persamaan 2 (pada persamaan 6) dari diagram lingkaran Mohr. Dimana lingkaran terluar dan terbesar merupakan lingkaran C_2 yang merupakan daerah solusi kegagalan Mohr dari dua lingkaran didalamnya (Soetomo, 2013). Interpretasi tegangan dua dimensi dari diagram lingkaran sendiri dapat membantu memahami kondisi tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada bidang patahan (Elenean, 2003). Posisi bidang patahan terletak di setengah lingkaran bidang atas dan bawah, patahan konjugasi berorientasi simetris sehubungan dengan kompresi maksimum teraktifkan (Fajtikova and Vavrycuk, 2018).



Gambar 7. Sumbu P/T dengan arah tegangan utama.

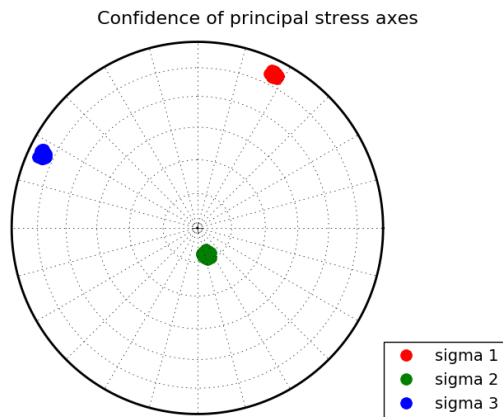
Hasil dari gambar 7 menjelaskan sumbu P/T dengan arah tegangan utama. Sumbu – sumbu tersebut ditandai dengan dua warna yaitu warna merah dan biru. Warna merah mengambarkan tekanan atau sumbu P dan warna biru melambangkan tegangan atau sumbu T. Sedangkan keterangan yang ada pada gambar sesuai dengan arah tegangan utama. Lingkaran berwarna hijau melambangkan σ_1 , tanda persilangan berwarna hijau melambangkan σ_2 , dan tanda penjumlahan berwarna hijau melambangkan σ_3 . Area dalam lingkaran atau kurva kegagalan menentukan posisi sumbu P/T dari mekanisme fokus. Persebaran sumbu P dan sumbu T membentuk cluster yang tidak tumpang tindih. Pola ketika sumbu P/T membentuk dua cluster yang berbeda disebut pola “sayap dua” atau “kupu-kupu”. Hal ini menunjukkan akurasi tinggi dari mekanisme fokus dan homogenitas tegangan yang diambil (Vavrycuk, 2011a).



Gambar 8. Histogram rasio bentuk.

Hasil pada gambar 8 menjelaskan nilai akurat tegangan dari rasio bentuk. Nilai akurat dari rasio bentuk dapat dihitung dengan inversi sambungan berulang untuk orientasi tegangan dan kesalahan. Dalam inversi ini, diterapkan batasan ketidakstabilan patahan

dan diidentifikasi dengan bidang nodal yang lebih tidak stabil, dengan demikian rentan terhadap guncangan (Vavrycuk, 2014). Nilai dari histogram rasio bentuk sensitif terhadap inversi mekanisme fokus dan akurasinya. Metode Michael dan iteratif digunakan untuk menghitung distribusi rasio bentuk yang ditentukan oleh histogram rasio bentuk. Nilai hasil dari penelitian kali ini mendekati angka 0,8, dimana hasil minimum menurut teori yang ada adalah 0,7. Hal ini membuktikan bahwa nilai rasio bentuk dari hasil penelitian ini sesuai dengan teori yang ada.



Gambar 9. Batas kepercayaan arah tegangan utama.

Hasil dari gambar 9 menunjukkan batas kepercayaan arah tegangan utama. Dapat dilihat pada keterangan gambar bahwa warna merah, hijau, dan biru pada gambar masing-masing merepresentasikan arah tegangan sesuai dengan urutannya σ_1 , σ_2 , dan σ_3 . Warna merah menunjukkan arah tegangan maksimum, warna hijau menunjukkan arah tegangan intermediet, dan warna biru menunjukkan arah tegangan minimum. Pada gambar dapat dilihat arah tegangan normal masing-masing, tegangan normal maksimum berada di sebelah utara timur laut (UTL) dari sesar Sorong-Yapen, tegangan normal intermediet berada di sekitar sesar Sorong-Yapen, dan tegangan normal minimum berada di sebelah barat barat laut (BBL) dari sesar Sorong-Yapen. Dengan mengetahui arah tegangan dapat diketahui daerah yang memiliki kerawanan kegempaan tinggi atau kemungkinan terjadinya gempa susulan di daerah tersebut.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa distribusi posisi tegangan normal (maksimum (σ_1), intermediet (σ_2), dan minimum (σ_3)) pada daerah sekitar sesar Sorong-Yapen ditunjukkan oleh sumbu P/T. Sedangkan arah tegangan normal ditunjukkan dengan batas kepercayaan tegangan

utama. Tegangan normal maksimum berada di sebelah utara timur laut (UTL) dari sesar Sorong-Yapen, tegangan normal intermediet berada di sekitar sesar Sorong-Yapen, dan tegangan normal minimum berada di sebelah barat barat laut (BBL) dari sesar Sorong-Yapen. Hasil yang didapat dari nilai histogram rasio bentuk berada pada angka mendekati 0,8. Dimana menurut teori yang ada nilai maksimum dari rasio bentuk adalah 1 dan minimum adalah 0,7. Hal ini membuktikan bahwa nilai dari rasio bentuk pada penelitian ini sesuai dengan teori yang ada.

Saran

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, dilihat dari segala aspek pengambilan dan pengolahan data untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan akurat maka penulis memberikan saran pada saat pengambilan data parameter bidang sesar sebaiknya dilakukan dengan teliti. Saat mengamati bentuk bola focal pastikan bahwa bola focal tersebut merepresentasikan jenis sesar yang diinginkan sesuai dengan jenis sesar pada daerah penelitiannya. Untuk jumlah data nodal plane yang digunakan sebaiknya diambil sebanyak-banyaknya agar mendapatkan hasil yang lebih baik. Karena dua hal tersebut sangat mempengaruhi hasil yang didapat dari *software Stressinverse*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim Penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak atas ketersediaan data sekunder dalam penelitian ini, antara lain kepada IRIS yang telah menyediakan data CMT (Centroid Moment Tensor) (<https://ds.iris.edu/spud/momenttensor>), juga kepada Vavrycuk, V yang telah menciptakan *software Stressinverse* beserta buku panduan yang telah melancarkan proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abers, G., McCaffrey, R. (1988). Active deformation in the New Guinea fold-and-thrust belt: seismological evidence for strike-slip faulting and basement-involved thrusting. *Journal of Geophysical Research*, 93(B11), 13.3322-13.354.
- Baldwin, S. L., Fitzgerald, P. G., Webb, L. E. (2012). Tectonics of the New Guinea region. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 40, 495-520.
- Cronin, Vince. (2004). A draft primer on focal mechanism solutions for geologists. UK. Bsyolor University.
- Dow, D. B. (1977). A geological synthesis of Papua New Guinea. *Bulletin Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics*, 201, 1-41.
- Dow, D. B., Sukamto, R. (1983). Western Irian Jaya: The end-product of oblique plate convergence in

- the late tertiary. *Tectonophysics*, 106, 109-139.
- Elenean, K. M. (2003). Focal mechanism and stress tensor inversion of earthquakes at and around Nasser Lake, Egypt. *Bull. Fac. Sci., Zagzang University*, 25(1), 77-107.
- Fajriani, Nursami. (2018). Analisis pola-pola sesar di pulau Sulawesi dengan menggunakan data gempa (studi kasus 1997-2017). *Skripsi*. UIN Alauddin Makassar.
- Febyani, S., Pradhana, M. F., Riyald, M., Syafri, I., Nur, A. A., Embara, P., Nugroho, S. D. (2020). Analisis kerentanan gempa pada jalur sesar Baribis menggunakan metode microearthquake. *Bulletin of Scientific Contribution, Geology*, 18(1), 1-12.
- Fojtikova, I., Vavrycuk, V. (2018). Tectonic stress regime in the 2003-2004 and 2012-2015 earthquake swarms in the Ubaye Valley, Franch Alps. *Pure and Applied Geophysics*, 175, 1997-2008, <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1792-2>
- Ikhwanudin, F., Abdullah, C. I. (2015). Indication strike-slip movement a part of Sorong fault zone in Yapen Island, Papua, Indonesia. *Geological and Earth Sciences*, https://doi.org/10.5176/2335-6774_2.1.21
- Irsyam, M. I., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Rudiyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N. R., Djarwadi, D. Dan Faizal, L. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Bandung: Penerbit Pusat Studi Gempa Nasional dan Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Kementerian PUPR.
- Linda, Ihsan, N., Palloan, P. (2019). Analisis Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai B-value dengan Menggunakan Metode Likelihood Di Pulau Jawa. *Sains dan Pendidikan Fisika*, 15(1), 16-13, 2548-6373.
- Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of geophysics second edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lunga, S., Minarto, F., Mantiri, S. Y. Y. (2015). Parameter Tingkat Resiko Gempa Bumi Disekitar Wilayah Kota Jayapura Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. *Fisika dan Aplikasinya*, 16(1).
- Madlazim. (2015). *Fisika Seismologi*. Surabaya: unipress.
- Memmo, V., Bertoni, C., Masini, M., Alvarez, J., Imran, Z., Echanove, A., Orange, D. (2013). Deposition and deformation in recent Biak Basin (Papua Province, Eastern Indonesia). *Thirty-Seventh Annual Convention & Exhibition*, <https://doi.org/10.13140/2.1.1123.7120>
- Murti, M. D., Nurhasan. (2016). Pemodelan Dua Dimensi Data Gaya Berat (Gravity) pada Zona Sesar Lembang. *Prosiding SKF*, 1(2), 104-116.
- Setyorini, D. A., Muhartanto, A., Burhannudinnur, M., Dwi, S. N., Khatri, G. (2020). Analisis Struktur Geologi Untuk Perencanaan dan Pengembangan Wilayah Kota Sorong, Papua. *Journal of Geoscience Engineering & Energy*, 1(2), 104-116.
- Simandjuntak, T. O., Barber, A. J. (2015). Contrasting tectonic styles in the Neogene orogenic belts of Indonesia. University of St Andrews.
- Siwi, P. W., Sriyanto, S. P. D., Randonuwu, A. T., Silangen, P. M. (2020). Perubahan Coulomb Stress Akibat Gempabumi Laut Maluku 7 Januari 2019. *Jurnal Geosaintek*, 6(3), 137-142.
- Stein, S., Wysession, M. (2003). *An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure*. Blackwell Publishing.
- Soetomo, James. (2013). *Persamaan Lingkaran Mohr Pada Problem General*. Jakarta.
- Vavrycuk, V. (2011a). Principal earthquakes: Theory and observations from the 2008 West Bohemia swarm. *Earth and Planetary Science Letters*, 305, 290-296.
- Vavrycuk, V. (2011b). Tensile earthquakes: Theory, modeling and inversion. *Geophysics Journal International*
- Vavrycuk, V. (2014). Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms. *Geophysics Journal International*, 199, 66-77, <https://doi.org/10.1093/gji/ggu224>
- Vavrycuk, V. (2015). Earthquake mechanisms, and stress field. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_295-1
- Vavrycuk, V. (2019). *Stressinverse*. User guide.