

**STUDI AWAL KEGEMPAAN SESAR AKTIF MEMBERAMO
PAPUA DAN IMPLIKASINYA**
**PRELIMINARY STUDY OF ACTIVE FAULT SEISMICITY AND
ITS IMPLICATIONS IN MEMBERAMO PAPUA**
(Suatu Kajian Awal-Korelasi Gempabumi 9 September 2022 dan
Gempabumi masa lalu)

Petrus Demon Sili^{1,*} dan Jaya Murjaya¹

¹⁾ Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran,
Jakarta Pusat, 10610

*Email : murjaya1@gmail.com

ABSTRAK

Sesar aktif Memberamo terletak di sekitar pegunungan Gaultier dan zona pesisir Kabupaten Sarmi-Papua. Sesar ini diduga membangkitkan gempabumi multiplet (multiplet earthquakes) pada tanggal 9 dan 10 September 2022 dan terdapat dua gempabumi yang signifikan. Gempabumi tanggal 9 September 2022 dengan magnitude (*M*) 5.9 (USGS, *M* 6.2) dan gempabumi 10 September 2022 *M* 6.2 (USGS, *M* 6.2) dengan jeda waktu kurang lebih 34 menit. Pada katalog tercatat gempabumi tanggal 1 Juli 1906 magnitudo 7.8 dengan kedalaman (*h*) 35 km (USGS) dan sebelum itu tidak ada data di sesar Memberamo. Setelah itu terjadi serentetan gempabumi (*M* > 7) di sesar tersebut, dan terkini gempabumi tanggal 10 September 2022 (*M* 6.2) dengan posisi episenter pada koordinat 2.04° LS-138.26° BT. Episenter gempabumi ini terletak (hampir sama) dengan episenter gempabumi tanggal 19 September 1950 (*M* 7.2 dan *h* 30 km) pada posisi episenter di 2.077° LS-138.151° BT. Hasil dari studi awal ini diharapkan dapat lebih memahami pola kegempaan sesar Memberamo dan menjadi salah satu masukan dalam perencanaan tata ruang jangka panjang dalam upaya mitigasi resiko bencana gempabumi di wilayah tersebut. Analisis mekanisme sumber (mechanism focal) menunjukkan dominasi gempabumi dengan mekanisme naik (thrust/reverse). Hasil analisis distribusi episenter dan analisis slip menunjukkan sesar Memberamo mempunyai arah barat laut-tenggara.

Kata kunci : gempabumi multiplet, mekanisme sumber, slip.

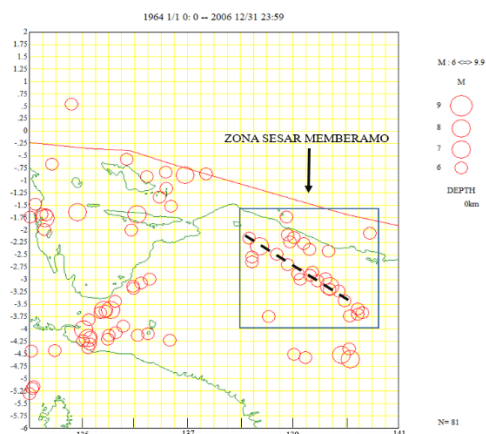
ABSTRACT

The Memberamo active fault located in around of Gaultier mountains and coastal zone of Sarmi District in Papua. This fault is estimated to trigger the multiplet earthquakes on September 9-10, 2022 and it has two significant earthquakes. That earthquakes has a magnitude (*M*) about 5.9 (USGS, *M* 6.2) and *M* 6.2 (USGS, *M* 6.2) respectively which 34 minutes relaxation. On the catalog was recorded an earthquake on July 1, 1906 (*M* 7.8) depth (*h*) 35 km (USGS) and it was not earthquake previously in Memberamo fault. After that the series of earthquakes (*M* > 7) occurred in that fault, and the latest earthquake on Sept 10, 2022 with epicenter about 2.04° S-138.26° E. This earthquake is almost identical position with the earthquake epicenter on Sept 19, 1950 (*M* 7.2 and *h* 30 km) about 2.077° S-138.151° E. The preliminary result in this study is hoped to more understand of the earthquake characteristic of Memberamo fault and it is one of the input on the longterm landscape for risk mitigation of earthquake hazard. The mechanism focal analysis showed that earthquakes was dominated by thrust fault. Analysis result of the earthquakes epicenter distribution and slip showed Memberamo fault has the northwest-southeast direction.

Keywords : multiplet earthquakes, mechanism focal, slip.

1. Latar Belakang

Secara tektonik wilayah kepulauan Indonesia termasuk pinggir aktif menumpu (*active convergence margins*) dengan letak tatanannya sebagai pertemuan tiga lempeng tektonik yang saling menumpu (*triple junction*) antara lempeng Eurasia yang relatif bergerak ke tenggara, lempeng Australia yang bergerak ke utara dan lempeng Pasifik yang bergerak ke barat. Pertemuan lempeng Australia dan Pasifik di sepanjang lepas pantai utara pulau Papua. Lempeng Pasifik yang bergerak relatif ke arah barat dengan kecepatan sekitar 12 cm/tahun (Bock, dkk, 2000) [1] menumbuk lempeng Australia. Keadaan ini menyebabkan adanya zona-zona lemah peka getaran (*seismic zones*) diduga memicu terbentuknya sistem sesar-sesar aktif di wilayah Papua dan salah satunya adalah sesar Memberamo. Berdasarkan data katalog sejarah kegempaan, di sesar Memberamo tercatat gempa bumi terjadi tahun 1906 dengan magnitudo 7.8 dengan kedalaman (h) 35 km (*United State Geological Survey-USGS*), dan sebelum itu tidak ada data gempa bumi besar. Gambar 1 merupakan sebaran gempa bumi magnitudo ≥ 6.0 sejak tahun 1964 sampai tahun 2006[2] di wilayah zona sesar Memberamo.



Gambar 1. Distribusi episenter gempa bumi sesar Memberamo Papua.

Garis putus-putus merupakan dugaan arah sesar Memberamo berdasarkan sebaran episenter gempa bumi.

Gempa bumi tanggal 10 September 2022 (M 6.2 dan h 16 km) posisi episenter pada 2.04° LS- 138.26° BT diduga lokasi episenternya sama (hampir bertepatan) dengan lokasi episenter gempa bumi tanggal 19 September 1950 (M 7.2) dengan posisi episenter di 2.077° LS- 138.151° BT. Merujuk dua kejadian gempa bumi tersebut dengan lokasi episenternya “pada zona yang sama”, banyak interpretasi bahwa gempa bumi 9 September 2022 itu sebagai *foreshock* atau sebagai perulangan (*recurrence*) gempa bumi 19 September 1950 dengan magnitudo yang lebih kecil. Terlepas dari interpretasi tersebut, studi kegempaan di wilayah sesar memberamo tetap menarik untuk melihat kegempaan secara komprehensif tidak hanya dari sisi periode ulangnya saja. Dalam jangka panjang gempa bumi pada zona sesar *thrusting* Memberamo tetap harus diwaspadai karena mempunyai potensi magnitudo cukup besar.

2. Data dan Metode

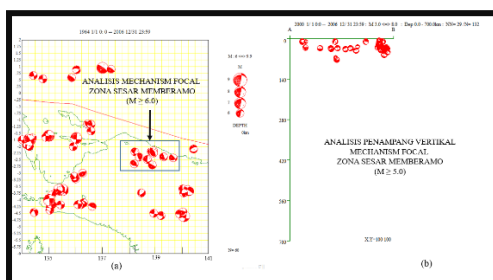
Data gempa bumi yang digunakan pada analisis kajian ini adalah data sekunder gempa bumi tahun 1964 sampai tahun 2006 dari *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering* (IISEE, 2010) yang merujuk pada data ISC[2], Katalog Gempa bumi 1900-2019 (BMKG, USGS 2021) [3] [4]. Sedangkan data *slip rate* untuk sesar-sesar aktif Memberamo Papua digunakan data dari Buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017[5]. Untuk mempelajari aktivitas sesar ini dapat merujuk dari tektonik aktif yang terdapat pada wilayah tersebut, data geologi, analisis morfologi dan data

kegempaanannya. Metode yang digunakan pada penelitian artikel ini adalah deskriptif, kualitatif dan kuantitatif dari hubungan tektonik aktif dan data kegempaanannya di zona sesar Meberamo Papua dan sekitarnya.

3. Hasil

3.1. Seismisitas Zona Sesar Memberamo

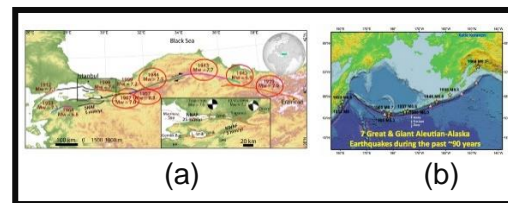
Pada gambar 1 di atas dapat dilihat bahwa sebaran gempabumi di sekitar zona Memberamo Papua untuk magnitudo ≥ 6.0 tidak terlalu banyak, namun yang menarik bahwa distribusi episenternya membentuk pola garis lurus yang diperkirakan atau diinterpretasikan sejajar sesar Memberamo. Kondisi ini dengan jelas dapat diartikan bahwa sesar Memberamo merupakan salah satu sesar aktif yang sering memicu gempabumi kuat (*strong-Major*). Gambar 2 merupakan pola mekanisme sumber (*Mechanism focal*) gempabumi pada zona sesar Memberamo. Berdasarkan gambar bola focal tampak bahwa gempabumi yang terjadi pada sesar Memberamo lebih dominan mempunyai jenis patahan naik kombinasi sedikit geseran.



Gambar 2. (a) Sebaran Bola Focal Gempabumi di sekitar zona sesar ($M \geq 6.0$). (b) Penampang Vertikal Mekanisme Fokal sesar Memberrano Papua ($M \geq 5.0$).

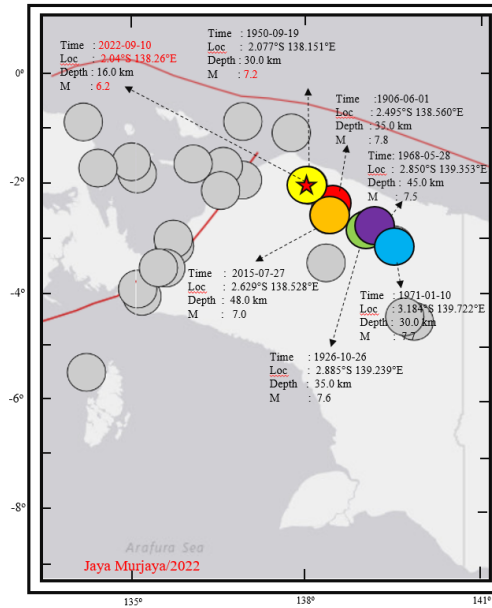
3.2 Migrasi Gempabumi

Migrasi gempabumi (*earthquake migration*) merupakan istilah untuk menggambarkan seolah-olah adanya penjalaran atau perpindahan “pusat” gempabumi yang dicerminkan dengan adanya penjalaran episenter dari waktu ke waktu. Pola waktu penjalarannya tidak teratur, tetapi migrasi episenternya sangat jelas. Gastineau, et al (2020) [6] telah melakukan studi “migrasi gempabumi” di sepanjang patahan Intra-Pontide Struktur Ankara-Istanbul Turki (gambar 3.a) dan David W.S et al (2015) [7] juga melakukan penelitian adanya fenomena ini pada daerah wilayah Aleutian yang menampakkan adanya “migrasi” episenter gempabumi besar (gambar 3.b).



Gambar 3. (a). Migrasi epic gempabumi di salah satu wilayah Turki (Gastineau, et al, 2020). (b) Migrasi episenter dari gempabumi besar yang terjadi di wilayah Aleutian-Alaska [7].

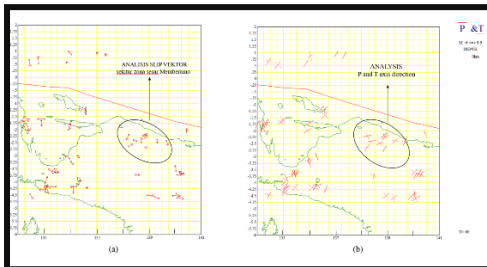
Gambar 4 merupakan sebaran gempabumi kuat di zona sesar Memberamo Papua dari waktu ke waktu. Tampak dari sebaran episenter terhadap waktu kejadian gempabumi menunjukkan rambatan episenter gempabumi dominan ke arah tenggara setelah kejadian gempabumi tanggal 1 Juni 1906[4]. Satu kali rambatan episenter ke arah barat laut yaitu kejadian gempabumi tanggal 19 September 1950 dengan $M 7.2$.



Gambar 4. Distribusi episenter gempa bumi kuat ($M \geq 7$) di zona sesar Memberamo Papua dari waktu ke waktu. Tampak seolah adanya “migrasi” episenter setelah kejadian gempa bumi tahun 1906.

3.3. Analisis Slip

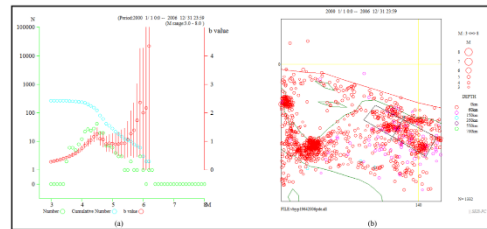
Gambar 5 merupakan distribusi slip gempa bumi kuat di zona sesar Memberamo. Tampak dari arah panah slip gempa bumi di zona sesar Memberamo tidak beraturan arahnya. Sebagian gempa bumi berarah tenggara, timur laut, selatan-barat daya dan gempa bumi di utara sesar Memberamo berarah barat daya dan selatan-tenggara.



Gambar 5. (a) Distribusi slip gempa bumi sesar aktif Memberamo Papua. Arah slip gempa bumi yang terjadi di sesar Memberamo termasuk slip yang kompleks. (b) Analisis P dan T axis gempa bumi sesar Memberamo.

3.4 Nilai Parameter Tektonik B (B Value).

Dalam studi kegempaan suatu wilayah biasanya dilakukan analisis nilai b, karena nilai b mencerminkan karakteristik suatu regim batuan di sekitarnya. Gambar 6 merupakan grafik nilai b di sekitar zona sesar Memberamo Papua.



Gambar 6. (a) Grafik nilai b batuan zona sesar Memberamo dan sekitarnya. (b) Kumulatif gempa bumi yang digunakan “dalam kotak” untuk analisis nilai b.

Gutenberg dan Richter tahun (1954) membuat hubungan logaritmik antara frekuensi dan magnitudo gempa bumi dalam bentuk;

$$\log N = a_1 - b M \text{ atau } N = 10^{a_1 - bM} \dots (1)$$

Dimana N merupakan jumlah gempa bumi dengan magnitudo lebih besar dari M yang terjadi dalam suatu periode tertentu. Konstanta a_1 bergantung pada jumlah gempa bumi di suatu tempat dalam periode tertentu dan nilai b secara matematis merupakan kemiringan atau *slope* dari hubungan tersebut. Sebagian peneliti kegempaan banyak perhitungan nilai b menggunakan rumusan pada persamaan (2);

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} = \frac{0,4343}{\bar{M} - M_0} \dots (2)$$

dimana \bar{M} harga rata-rata magnitudo gempabumi di suatu tempat, M_o batas bawah magnitudo 4,95 jika menggunakan $M \geq 5,0$. Batas atas (\bar{b}) dan bawah (\underline{b}) dari harga b dihitung dengan konfidensial limit 95 % dihitung dengan rumus:

$$\bar{b} = b \left(1 + \frac{1,960}{N} \right) \dots (3a)$$

$$\underline{b} = b \left(1 - \frac{1,960}{N} \right) \dots (3b)$$

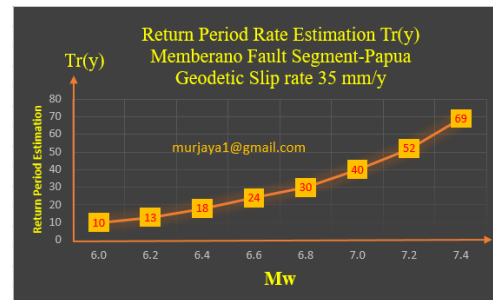
Nilai a yang berhubungan dengan persamaan (3a) dan (3b) dengan rumus kumulatif *frequency distribution* untuk $M \geq 5.0$ [8];

$$a = \log N(M) + \log(b \ln 10) + 5,0b \dots (4)$$

3.5 Analisis Estimasi Model Periode Ulang

Dalam studi kegempaan suatu wilayah biasanya dilakukan analisis estimasi periode ulang gempabumi besar yang terjadi pada suatu wilayah baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Berdasarkan data kegempaan sesar aktif Memberamo telah memicu rentetan gempabumi besar, sehingga perlu dilakukan analisis estimasi periode ulang (*return period atau recurrence time*). Mengacu pada buku *Active Tectonics- "Earthquakes, Uplift and Landscape"* [9], analisis *recurrence time* gempabumi besar pada suatu wilayah sangat penting dalam rangka perencanaan penggunaan lahan di masa depan terkait pembangunan infrastruktur dalam penataan ruang jangka panjang. Gambar 7 merupakan estimasi model kuantitatif penentuan *recurrence time* (Tr) atau periode ulang gempabumi dengan menggunakan nilai *velocity rate* 35 mm/y. Estimasi kuantitatif Model *Recurrence Time* (Tr) ini sangat sensitif terhadap nilai *slip rate* sebagai nilai masukan. Model kuantitatif perhitungan Tr bisa dilakukan dengan

menggunakan nilai *strain rate* sebagai nilai masukan (tidak dibahas karena belum ada data nilai *strain rate* di zona sesar Memberamo).



Gambar 7. Grafik Estimasi kuantitatif Model *Recurrence time* (Tr) atau periode-ulang gempabumi dengan menggunakan nilai *velocity rate* 35 mm/y [4].

4. Pembahasan

Gambar 1 merupakan sebaran spasial episenter di zona sesar Memberamo Papua dan sekitarnya dengan $M \geq 6.0$ berdasarkan data sumber gempabumi tahun 1964-2008 [2]. Dari gambar 1 tersebut cukup jelas pola sebaran episenter gempabumi dengan magnitudo $M \geq 6.0$ menunjukkan arah tertentu "hampir garis lurus" yang diduga merupakan arah dari sesar Memberamo. Berdasarkan data katalog sejarah kegempaan, pada zona sesar Memberamo terdapat gempabumi yang terjadi pada 1 Juni 1906 dengan magnitudo 7.8 dengan kedalaman (h) 35 km (*United State Geological Survey-USGS*), dan sebelum itu tidak ada data gempabumi besar. Setelah kejadian gempabumi $M 7.8$ tersebut selanjutnya terjadi rentetan gempabumi yang diduga sepanjang sesar Memberamo dengan interval waktu yang berbeda (gambar 4). Gempabumi kedua (untuk $M \geq 7$) terjadi tanggal 26 Oktober 1926 ($M 7.6$) ke arah tenggara dari lokasi gempabumi tanggal 1 Juni 1906. Setelah itu terjadi gempabumi ketiga terjadi tanggal 19 September 1950 ($M 7.2$). Selanjutnya terjadi lagi gempabumi keempat tanggal 28 Mei

1968 (M 7.5) ke arah tenggara. Gempabumi yang kelima dan keenam berturut-turut terjadi 10 Januari 1971 (ke arah tenggara gempabumi pertama) dan tanggal 27 Juli 2015 yang lokasi episenternya sangat berdekatan dengan lokasi episenter gempabumi tanggal 01 Juni 1906. Gempabumi terkini tanggal 9 September 2022 (M 6.2) dimana episenternya sangat berdekatan (*overlap* atau tepat) dengan gempabumi 19 September 1950. Pada gambar 4 tampak dari sebaran episenter terhadap waktu kejadian gempabumi menunjukkan rambatan episenter gempabumi. Berdasarkan data pada gambar 4, diperkirakan panjang sesar Memberamo minimal 160-180 km.

Rentetan kejadian gempabumi di sekitar zona sesar Memberamo Papua membentuk pola kelurusan yang diduga semua ini berhubungan dengan aktivitas sesar Memberamo yang aktif memicu gempabumi kuat (*Strong-Major earthquakes*) dengan $7 \leq M \leq 7.8$ (gambar 4). Menarik untuk dilakukan kajian yang lebih detil lagi bahwa setelah kejadian gempabumi tanggal 01 Juni 1906, berturut-turut terjadi gempabumi ke arah tenggara (26 Oktober 1926) dan gempabumi tanggal 19 September 1950. Dari kejadian ini dapat diinterpretasikan bahwa gempabumi yang kedua dan ketiga terjadi “di ujung patahan-*fault edges*” (pensesaran gempabumi 01 Juni 1906 (M 7.8) dengan interval waktu 20-25 tahun. Zona ujung-ujung patahan akibat sensesaran gempabumi sebelumnya merupakan zona yang lebih rentan dari yang lainnya. Rentetan gempabumi yang terjadi seperti diterangkan sebelumnya terdistribusi membentuk pola garis lurus yang diduga sebagai sesar Memberamo. Fenomena kejadian gempabumi tersebut yang terjadi dalam kurun waktu 1906-1971 seolah-olah membentuk pola migrasi

gempabumi seperti terjadi di daerah Anatolian Turki dan Aleutian-Alaska seperti terlihat pada gambar 3. Dari Analisis *slip* gempabumi yang terdapat pada sesar aktif Memberamo di tampilkan pada gambar 5a dan peta P dan T pada gambar 5b. Tampak dari arah panah *slip* gempabumi di zona sesar Memberamo tidak beraturan arahnya. Data *slip* yang terpetakan masih terlalu sedikit sehingga masih kesulitan untuk menyimpulkan arah *slip*nya yang lebih dominan dan komprehensif. Sebagian *slip* berarah tenggara, timur laut, selatan-barat daya dan gempabumi di utara sesar Memberamo berarah barat daya dan selatan-tenggara. Dari analisis nilai *b* (*b value*) dimana nilai ini fisis menggambarkan karakteristik suatu batuan dan umumnya bernilai sekitar 1. Untuk zona sesar Memberamo dan sekitarnya didapatkan rata-rata nilai *b* berkisar antara 1 – 1,2. Nilai ini masih sesuai dengan nilai rata-rata untuk batuan sebesar 1.

Berdasarkan distribusi episenter sejak gempabumi tanggal 1 Juni 1906 sampai dengan gempabumi tanggal 10 September 2022 terdapat 2 kali gempabumi yang lokasi episenternya sama atau sangat berdekatan. Pertama, gempabumi terjadi pada 1 Juni 1906 dengan magnitudo 7.8 dengan kedalaman (*h*) 35 km, lokasi episenternya sama (hampir sama) dengan gempabumi tanggal 27 Juli 2015 dengan magnitudo 7.0. Dengan melihat lokasi episenternya kedua gempabumi tersebut yang “hampir sama” (sama), sehingga terdapat beberapa penafsiran. Penafsiran tersebut diantaranya bahwa gempabumi tanggal 27 Juli 2015 (M 7) sebagai periode ulang gempabumi tanggal 1 Juni 1906 (M 7.8) tetapi magnitudonya lebih kecil. Dengan asumsi magnitudo gempabumi 7.8 dianggap benar maka kemungkinan masih ada sejumlah energi yang belum terlepas setara beda

magnitudo $\Delta M = 0.8$ antara gempabumi M 7.8 dan M 7 atau E (M 7.8) = 15.85 x E (M 7). Penafsiran lainnya bisa diduga magnitudo gempabumi tanggal 1 Juli 1906 (M 7.8) itu terlalu besar dengan asumsi peralatan seismometer pada saat itu masih menggunakan teknologi yang belum secanggih saat ini. Kedua, gempabumi tanggal 19 September 1950 (M 7.2), lokasi episenternya sama ("hampir sama") dengan lokasi episenter gempa tanggal 10 September 2022 dengan magnitudo 6.2. Dengan argumen yang sama, menggunakan *scaling law*, dan menganggap E (M7.2) ≈ 32 E (M 6.2) maka masih ada energi yang belum terlepas cukup besar. Artinya gempabumi M 6.2 (2022) bukan perulangan gempabumi 7.2 (1950), dengan menganggap besaran magnitudo 7.2 sudah valid atau sebaliknya perhitungan magnitudo M 7.2 terlalu besar..

Jika magnitudo gempabumi yang berasosiasi dengan sesar Memberamo Papua dianggap benar semua, maka berapakah periode ulang masing-masing gempa tersebut. Untuk melakukan analisis estimasi periode ulang gempabumi secara kuantitatif, maka diperlukan besaran nilai kecepatan rata-rata gerakan sesar tersebut. Dengan mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017[5], dimana sesar Memberamo Papua mempunyai *rate velocity* 35 mm/y [5]. Pada gambar 7 menerangkan estimasi model penentuan *recurrence time* (T_r) atau periode ulang gempabumi dengan menggunakan nilai *velocity rate* 35 mm/y.

Dari gambar 7, grafik estimasi model periode ulang rata-rata (T_r) yang di hitung secara kuantitatif sebagai salah satu perhitungan yang biasa digunakan dalam fisika gempabumi.

Estimasi model periode ulang gempabumi sesar Memberamo pada gambar 7 ini menggunakan data *slip rate* atau *velocity rate* 35 mm/y [5]. Hasil perhitungan yang didapatkan seperti terlihat pada gambar 6, masih mempunyai rentang perbedaan angka masih cukup signifikan. Ada beberapa kemungkinan terdapat kesalahan, diantaranya variabel yang digunakan sebagai data masukan kurang valid. Model kuantitatif perhitungan T_r bisa dilakukan dengan menggunakan nilai *strain rate* sebagai nilai masukan (tidak dibahas karena belum ada data nilai *strain rate* di zona sesar Memberamo).

5. Kesimpulan

Dengan memperhatikan tatanan tektonik dan sistem patahan yang kompleks wilayah pinggiran utara Papua, khususnya zona sesar Memberamo dan sekitarnya merupakan salah satu daerah rawan gempabumi. Sumber gempabumi diduga berasal dari sesar Memberamo yang terlihat dari data yang sudah dipetakan pada gambar.1 Berdasarkan hal tersebut di atas dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Berdasarkan hasil penggambaran episenter gempabumi di wilayah sesar Memberamo, menunjukkan sesar tersebut aktif gempabumi. Hal ini terkonfirmasi dari data USGS dan *International Institute of Seismology and earthquake Engineering* dengan data tahun yang berbeda seperti terlihat pada gambar 1 dan gambar 4.
2. Sesar Memberamo berarah barat laut-tenggara cukup valid dengan didukung data sebaran episenter pada gambar 1.
3. Nilai b (*b value*) rata-rata berkisar antara 1.0 - 1.2 (gambar 6a), dan nilai b rata-rata batuan secara global berkisar ~ 1 sd 1.0. Dapat ditafsirkan bahwa *b value* sebagai

karakter batuan dasar di zona ini yang mampu menahan akumulasi energi tektonik besar. Untuk mengetahui karakter batuan dasar yang lebih teliti diperlukan kajian lanjut salah satunya dari sisi *rheology* batuan di wilayah itu.

4. Pada kajian estimasi model periode ulang gempa bumi sesar Memberamo tampaknya masih terdapat perbedaan yang signifikan. Hal ini terdapat beberapa kemungkinan terkait perbedaan hasil perhitungan diantaranya variabel-variabel masukan (*input*) yang belum valid. Estimasi periode ulang gempa bumi ini sangat diperlukan untuk dipertimbangkan dalam mendukung mitigasi resiko bencana gempa bumi pada perencanaan tata ruang atau *landscape* jangka panjang (*longterm*).

Ucapan Terima Kasih

Kajian awal terkait tektonik aktif dan implikasi kegempaan di zona sesar Memberamo Papua menggunakan data dan software dari *International Institute of Seismology and earthquake Engineering (IISEE)-Building Research Institute* di Tsukuba Jepang, dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika serta Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN) terkait data *geodetic slip rate* atau *slip rate* sesar-sesar aktif di wilayah Papua. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih atas semua dukungannya kepada lembaga-lembaga tersebut sehingga bisa membuat studi gempa bumi di sekitar zona sesar Memberamo sebagai gambaran awal pola kegempaan di wilayah tersebut. Untuk kajian yang lebih teliti diperlukan kajian bersama yang lebih terstruktur dan lebih rinci.

Daftar Pustaka

- [1] Bock.Y, Linette Prawirodirdjo, Genrich. J.F, Stevens. C.W, McCaffrey.R, Cecep Subarya, Puntodewo, and Calais.E. (2003). Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. *Journal Geophysics Research.*, 108, No. B8, 2367.
- [2] International Institute of Seismology and earthquake Engineering, Building Research Institute. (2010). Bahan Kuliah. Tsukuba, Japan.
- [3] Badan Meteorologi Klimatologi. (2019). Katalog Gempabumi Indonesia. Jakarta.
- [4] United State Geological Survey. (2020). (www.usgs.gov) earthquake map.
- [5] Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman. Bandung : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan Konsorsium Lembaga.
- [6] R. Gastineau; J.de Sigoyer; P. Sabatier; S.C. Fabru; F.S. Anselmetti; A.L. Develle; M. Sahin; S. Gunduz; F.Nissen; A.C. Gebhardt. (2020). Active Suaquatic Fault Segment in Lake Iznik Along the middle strand of the North Anatoliam Fault, N.W Turkey. *Tectonic.* <http://doi.org/101029/2020TC006404>.
- [7] David W.S; Stephen H.Kirby; Roland von Huene; Holly Ryan; Ray E. Wells; Eric L. Geist. (2015). Great (Mw \geq 8.0) megathrust earthquakes and the

subduction of excess sediment and bathymetrically smooth seafloor. *Geosphere* (2015)11(2):236-265.

- [8] Soedarmo R.P. (1978). *Statistical Analysis of The earthquakes Occurrence and Seismic Activity in Some of Indonesian Region*

1897-1973. Pusat Meteorologi dan Geofisika. Departemen Perhubungan.

- [9] Edward A. Keller and Nicholas Pinter. (1996). *Active Tectonics- "Earthquakes, Uplift and Landscape"*. United States of America : Prentice Hall.