

GEOMORFOLOGI SESAR AKTIF DI PULAU RUMBERPON, PAPUA BARAT, INDONESIA

ASTYKA PAMUMPUNI^{1,3}, BENYAMIN SAPIIE¹, IPRANTA², IMAM A. SADISUN¹

1. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia Email: pamumpuni@itb.ac.id
2. Pusat Survey Geologi, Badan Geologi, ESDM, Jl. Diponegoro No. 57, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.
3. PUI Gempa, PPMB ITB, Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

Sari – Morfologi di bagian Leher Burung, Papua didominasi oleh bentuk morfologi sesar naik dan lipatan. Morfologi yang menunjukkan lipatan ideal yang masih muda, bentukan antiform merepresentasikan antiklin. Namun demikian, data kegempaan di daerah Leher Burung, Papua menunjukkan banyaknya gempa dengan mekanisme sesar normal dan sesar mendarat. Observasi geomorfologi di lokasi Leher Burung, di Pulau Rumberpon dilakukan pada studi ini dengan menggunakan data DEM (*digital elevation model*) dengan resolusi 8m dari DEMNAS (*digital elevation model nasional*). Analisis geomorfologi ditekankan pada identifikasi sesar aktif. Data kegempaan yang berupa lokasi gempa (*epicenter* dan *hipocenter*), magnitudo, dan waktu kejadian didapatkan dari katalog kegempaan yang telah direlokasi. Mekanisme fokal gempa didapatkan dari katalog CMT (*centroid moment tensor*). Data kegempaan digunakan untuk melihat hubungan data kegempaan dan hasil analisis geomorfologi. Hasil analisis geomorfologi menunjukkan adanya sesar normal yang aktif berkorelasi dengan arah jurus dari mekanisme fokal yang ada di area ini. Observasi menunjukkan adanya bukti-bukti sesar normal dengan arah jurus utara-selatan (N-S) dan timur laut-barat daya (NE-SW). Fitur-fitur geomorfologi yang terpetakan antara lain adalah laguna yang memanjang, lembah paralel, penampang topografi yang menunjukkan seri rangkaian sesar normal, gawir sesar, dan relay-ramp. Fitur geomorfologi yang ada menunjukkan adanya seri sesar normal aktif memiliki kemiringan ke barat dengan jurus ke utara-selatan sesuai dengan arah jurus dari mekanisme fokal kegempaan yang ada. Kesesuaian antara mekanisme fokal gempa dan bukti morfologi menunjukkan adanya sesar normal aktif di area Leher Burung, terutama di Pulau Rumberpon. Mekanisme pembentukan sesar di Pulau Rumberpon ini terkait erat dengan Sesar Yapen-Sorong dan adanya pembelokan ke kanan zona sesar tersebut.

Kata kunci: geomorfologi, sesar normal, Papua, sesar aktif

Abstract - The morphology in the Bird's Neck, Papua, is dominated by morphological forms of thrust faults and folds. Morphology shows ideal folds that are still young antiform formations represent anticlines. However, seismicity data in the Bird's Neck area, Papua, indicates many earthquakes with normal and strike-slip fault mechanisms. Geomorphological observations at the Bird's Neck area on Rumberpon Island were carried out in this study using DEM data with 8m resolution from DEMNAS. The geomorphological analysis emphasizes the identification of active faults. Seismic data in the form of earthquake locations (*epicenter* and *hypocenter*), magnitude, and time of occurrence were obtained from the earthquake catalog that had been relocated. The earthquake focal mechanism was obtained from the CMT catalog. Seismic data is used to see the relationship between seismicity data and the results of the geomorphological analysis. The results of the geomorphological analysis show that there are normal faults that are actively correlated with the direction of movement of the focal mechanism in this area. Observations showed normal faults with north-south (N-S) and northeast-southwest (NE-SW) directions. The geomorphological features include elongated lagoons, parallel valleys, topographical sections showing a series of normal faults, fault escarpments, and relay ramps observed and mapped. The existing geomorphological features indicate an active normal fault series having a westward dip with a north-south strike in accordance with the direction of the motion of the seismic focal mechanism. The correspondence between the focal earthquake mechanism and morphological evidence indicates the presence of active normal faults in the Bird's Neck area, especially on Rumberpon Island. The mechanism of fault formation on Rumberpon Island is closely related to the Yapen-Sorong Fault, and there is a right stepping of the fault zone.

Keywords: geomorphology, normal fault, Papua, active fault

1. PENDAHULUAN

Interaksi antara Lempeng Australia, Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Filipina di bagian timur Indonesia

menyebabkan kondisi geologi Papua menjadi kompleks (Gambar 1). Terdapat beberapa sesar utama yang menyertai kompleksnya tektonik Papua. Beberapa sesar tersebut antara lain:

Zona Sesar Sorong, Trough Manokwari, Zona Sesar Yapen, Zona Sesar Mamberamo, Palung New Guinea, Zona Sesar Anjak Torateli-Gauttier, Zona Sesar Wandamen, Zona Sesar Anjak Papua, Sesar Tarera-Aiduna, dan *Trough* Aru (Pamumpuni, 2016; Pustlitbang PUPR, 2017).

Posisi Pulau Rumberpon berada di pertemuan antara *Trough* Manokwari, Sesar Yapen, dan Sabuk Lipatan dan Sesar Naik Lengguru. Terdapat juga percabangan sesar mendarat dari Sesar Yapen yang mengarah ke barat daya (*SW*). Posisi Pulau Rumberpon yang berada di pertemuan beberapa sesar disertai dengan kegempaan yang tinggi. Kegempaan di Papua umumnya berada di sekitar pantai utara Papua bagian barat (**Gambar 1**). Kegempaan di bagian barat Papua lebih menyebar, kegempaan tersebut umumnya berada di tepi utara di sekitar Sorong dan Manokwari, sedangkan di bagian timur Manokwari pola kegempaan memperlihatkan jalur hampir utara selatan dan menerus ke bagian selatan (**Gambar 1**). Tepat di sekitar Pulau Rumberpon, terdapat cukup banyak kegempaan dengan dengan magnitudo lebih dari M5. Di sebelah barat Pulau Rumberpon juga terdapat data kegempaan yang kemungkinan berasosiasi dengan Sabuk Lipatan dan Sesar Naik Taminabuan, sedangkan di selatan Pulau Rumberpon, di kemenerusan struktur Sabuk Lipatan dan Sesar Naik Lengguru, kondisi kegempaan relatif tenang.

Pada studi ini, dilakukan pengamatan geomorfologi yang berkaitan dengan sesar aktif di Pulau Rumberpon untuk melihat kondisi struktur di pertemuan sesar-sesar besar yang ada di wilayah ini. Litologi yang ada di Pulau Rumberpon adalah batugamping berumur Kuartar, yang menumpang di atas batuan sedimen berumur Mesozoikum (Atmawinata dkk., 1989). Struktur yang secara morfologi memotong batuan-batuan berumur Kuartar secara sederhana dapat diduga sebagai sesar aktif atau paling tidak sesar neotektonik, karena pada studi kali ini tidak tersedia data penanggalan detail. Oleh karena itu, pada studi ini interpretasi dikhususkan untuk struktur-

struktur yang memotong batuan yang berumur paling tidak Kuartar.

2. DATA DAN METODE

Data yang digunakan pada studi ini adalah data DEM dari DEMNAS yang diunduh dari <http://tides.big.go.id/DEMNAS/> ("DEMNAS," n.d.). Berdasarkan deskripsi yang ada, resolusi spasial DEMNAS adalah 0,27-detik (*arcsecond*), setara dengan 8,2m dengan menggunakan datum vertikal EGM2008 ("DEMNAS," n.d.). Data diplot dan dianalisis dengan bantuan perangkat lunak QGIS 3.20 (Ekström dkk., 2012) (QGIS Development Team, 2022).

Katalog kegempaan yang digunakan adalah katalog gempa yang telah di relokasi oleh Pusgen (Pustlitbang PUPR, 2017). Data kegempaan yang digunakan adalah data kegempaan yang terjadi dari 1907 – 2016 dengan magnitudo lebih dari 4,5.

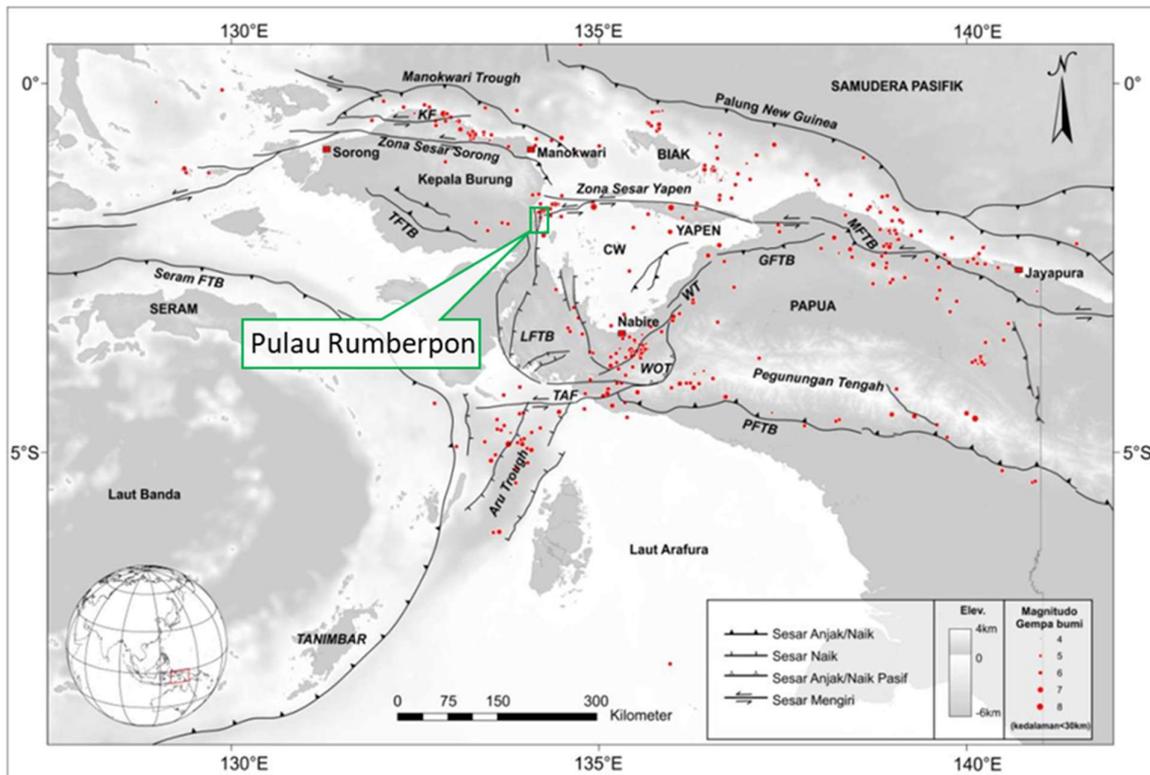
Analisis penginderaan jauh digunakan dalam identifikasi struktur geologi secara regional, data penginderaan jauh juga digunakan dalam identifikasi tektonik aktif, dalam hal ini berupa sesar aktif dan lipatan aktif. Dalam melakukan interpretasi data diproses untuk mendapatkan visualisasi yang menunjukkan fitur ketidakmenerusan. Untuk mendapatkan visualisasi yang tidak bias, data DEM diproses untuk mendapatkan kenampakan *hillshade*. Dalam studi ini digunakan teknik *multidirectional hillshade* yang dapat mengeliminasi bias interpretasi akibat arah cahaya yang hanya dari satu arah tertentu.

Pemetaan zona sesar aktif dilakukan berdasarkan kenampakan geomorfologi. Pemetaan geomorfologi untuk sesar aktif umumnya dapat digunakan untuk sesar-sesar dengan laju pergerakan yang tinggi. Hal ini dikarenakan proses geomorfologi dari tektonik cenderung lebih besar daripada erosi dan pengendapan (Burbank dan Anderson, 2012; Yeats dkk., 1997). Papua memiliki kecepatan pengendapan yang sangat tinggi (Suggate dan Hall, 2003) dan dengan iklim tropis yang menyebabkan vegetasi sangat tebal dan

pelapukan cepat berkembang, maka ada kemungkinan sesar aktif dengan laju pergeseran sedang tertutup oleh sedimen dan atau terpengaruh oleh adanya vegetasi dan pelapukan sehingga tidak terdeteksi pada pemetaan ini.

Metode pemetaan sesar aktif berdasarkan geomorfologi ini telah banyak meningkatkan pengetahuan tentang potensi kegempaan di berbagai daerah, misalnya di Sumatra (Sih dan Natawidjaja, 2000) dan Myanmar (Wang dkk., 2014). Interpretasi sesar aktif meliputi penarikan kelurusan dan sesar aktif beserta atribut yang menyatakan jenis struktur dan aktivitasnya.

Data seismologi kegempaan yang berupa episentrum dan mekanisme fokus diintegrasikan dengan peta tektonik dan peta geomorfologi yang dihasilkan pada analisis sebelumnya. Data mekanisme fokus digunakan sebagai konfirmasi terhadap jenis pergerakan atau mekanisme sesar. Data kegempaan yang digunakan adalah hasil kombinasi dari data-data yang tersedia. Data mekanisme fokus dari CMT (*Centroid Moment Tensor*) (Ekström dkk., 2012) dimuat dan ditampilkan menggunakan perangkat lunak GMT (Wessel dkk., 2013). Data mekanisme fokus yang digunakan adalah data dengan format sesuai konvensi Aki dan Richard (Aki dan Richards, 1980).



Gambar 1. Regional tektonik Papua dan kegempaan. KF: Sesar Koor, SFZ: Zona Sesar Sorong, YFZ: Zona Sesar Yapen, GFTB: Sabuk Lipatan Gautier-Torateli, TAF: Sesar Tarera-Aiduna, LFTB: Sabuk Sesar dan Lipatan Lengguru, CW: Teluk Cendrawasih, TFTB: Sabuk Lipatan Taminabuan, WOT: Sesar Anjak Weyland, WT: *Trough* Wapoga, PFTB: Zona Lipatan dan Sesar Papua, MFTB: Zona Lipatan dan Sesar Mamberamo (Pamumpuni, 2016).

3. HASIL DAN DISKUSI

Geomorfologi Pulau Rumberpon

Bentuk Pulau Rumberpon sangat jelas menunjukkan kelonjongan yang berarah relatif utara-selatan. Terdapat laguna yang bentuknya memanjang utara selatan di tengah pulau. Bentuk laguna ini terlihat bagian timur dari

laguna yang terdapat *inlet* ke laut dibatasi oleh punggung yang relatif tinggi dan lurus ke utara-selatan. Kemiringan lereng terlihat secara umum menuju ke timur lebih landai dibandingkan lereng yang miring ke barat, terutama di bagian utara pulau (**Gambar 2a**). Terlihat jelas puncak punggung di paling ujung utara pulau memiliki lereng ke timur lebih landai dibandingkan dengan lereng yang mengarah ke barat.

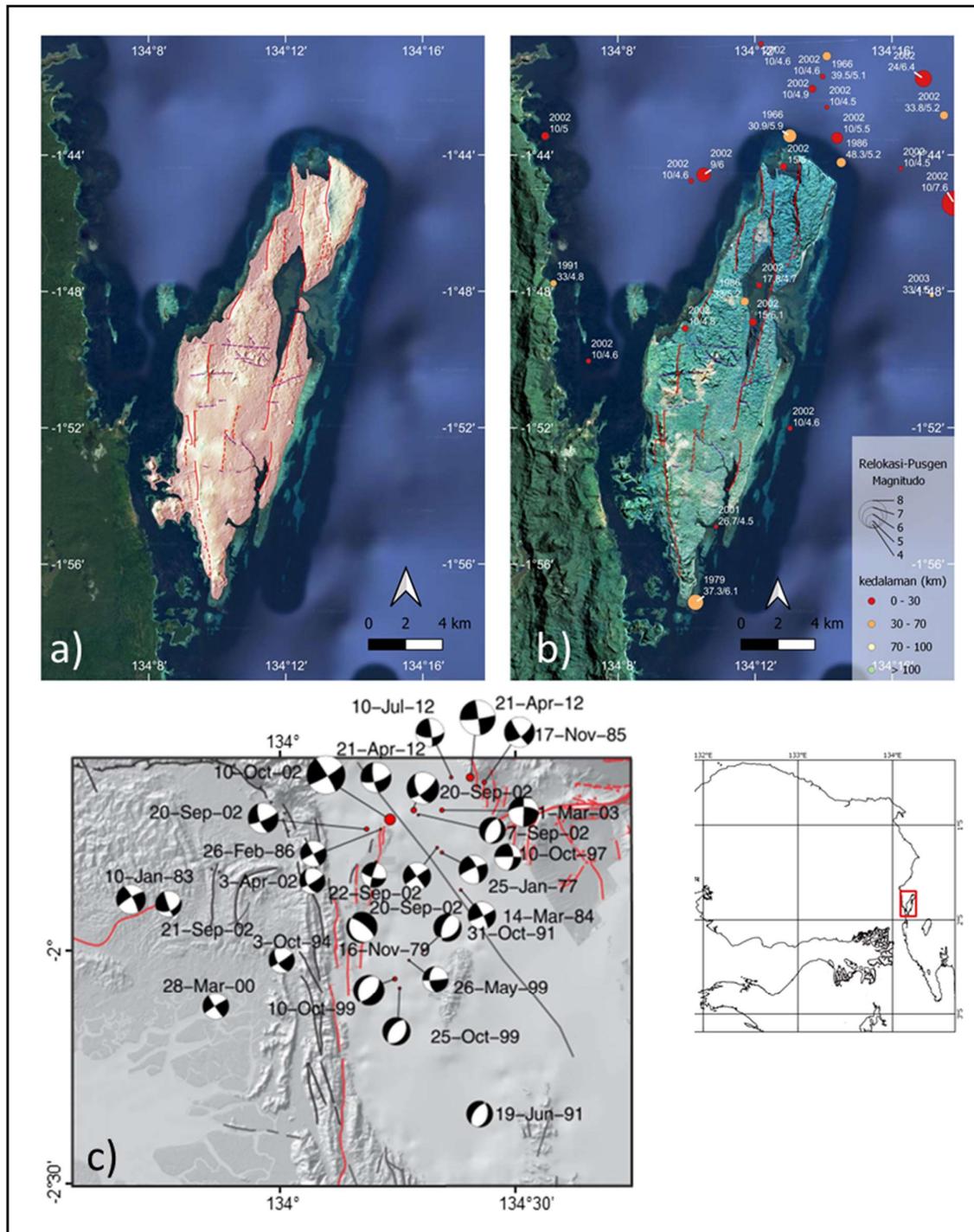
Pengamatan geomorfologi menunjukkan adanya struktur-stuktur yang sangat mempengaruhi bentuk morfologi saat ini di Pulau Rumberpon. Struktur-struktur dengan arah utara selatan sangat jelas dapat diamati di Pulau Rumberpon (**Gambar 2a**). Struktur barat-timur maupun timur laut – barat daya tidak teramati dari morfologi, sedangkan struktur dengan arah barat timur teramati meskipun tidak terlalu jelas. Kemungkinan arah barat timur ini merupakan struktur dari batuan sedimen Mesozoikum yang terdapat di Pulau Rumberpon. Struktur dengan arah NW-SE terlihat di beberapa lokasi di bagian tengah dan selatan pulau. Meskipun tidak terlalu panjang dan tidak terlalu jelas, arah struktur ini dapat diamati dari morfologi. Struktur utara-selatan teramati dengan baik dan paling banyak di bagian timur pulau. Salah satu yang cukup jelas membatasi bentukan laguna di tengah Pulau Rumberpon. Laguna yang ada membentuk busur di pesisir bagian barat, sedangkan di bagian timur sangat jelas terlihat lurus memanjang utara-selatan.

Data kegempaan

Data kegempaan menunjukkan gempa-gempa dangkal banyak terjadi di sebelah utara Pulau Rumberpon. Pada bagian selatan Pulau Rumberpon terdapat data gempa dengan magnitudo 6.1 pada 1979. Sedangkan di bagian utara pulau data kegempaan cukup rapat dengan magnitudo berkisar dari M5-M7. Gempa besar yang pernah terjadi di sekitar Pulau Rumberpon adalah gempa yang dikenal dengan gempa Ransiki 2002. Gempa M7.6 pada 10 Oktober 2002 ini berada pada sebelah timur laut Pulau Rumberpon pada kedalaman 10 km (**Gambar 2b**).

Dilihat dari posisi kegempaan dan interpretasi sesar yang ada, sangat jelas bahwa sesar-sesar yang diidentifikasi dari morfologi menunjukkan aktivitas kegempaan. Selain posisi *epicenter*, kedalaman gempa yang ada juga menunjukkan gempa-gempa dangkal dengan kedalaman *hipocenter* berkisar antara 10-30 km. Meskipun demikian, data kegempaan ini dapat juga berkorelasi dengan cabang Sesar Yapen yang berada tidak jauh di utara Pulau Rumberpon atau Sesar Ransiki yang berada di sebelah utara Pulau Rumberpon.

Data mekanisme fokal menunjukkan gempa dengan mekanisme *strike-slip* di utara pulau. Sedangkan gempa dengan mekanisme normal terjadi di sebelah selatan dan tenggara Pulau Rumberpon. Data mekanisme fokal yang berupa sesar normal menunjukkan jurus yang relatif utara-selatan hingga timur laut-barat daya (**Gambar 2c**). Gempa-gempa dengan mekanisme *strike slip* yang berada di sebelah utara Pulau Rumberpon dapat disebabkan oleh Sesar Yapen dan juga Sesar Ransiki jika dilihat dari posisinya saja. Gempa M7.6 pada 2002 memiliki mekanisme fokal *strike slip* dengan *nodal plane* memiliki *strike* timur laut-barat daya (*NE-SW*) dan tenggara-barat laut (*NW-SE*). Dari arah *strike* yang ada secara umum sesar juga berkorelasi dengan Sesar Ransiki dan juga Sesar Yapen, karena terlihat jelas dari mekanisme fokal dengan *strike* barat laut-tenggara maupun timur laut-barat daya. Namun demikian, Pamumpuni (2016) tidak menemukan bukti sesar dengan arah barat laut-tenggara yang meyakinkan, baik dari batimetri maupun dari data seismik refleksi.



Gambar 2. a) Data DEMNAS (warna jingga-kuning) yang ditampilkan dengan teknik *multidirectional hillsahde* digabungkan dengan citra *googleearth* (warna hijau). Garis merah merupakan hasil interpretasi sesar aktif berdasarkan pengamatan morfologi. b) Data kegempaan menunjukkan gempa-gempa dangkal (kode warna, lihat keterangan di kanan bawah) banyak kejadian gempa di sebelah utara Pulau Rumberpon. Keterangan pada titik gempa adalah tahun, kedalaman (dalam km), dan magnitudo. c) Data mekanisme fokal menunjukkan gempa dengan mekanisme *strike-slip* di utara pulau. Sedangkan gempa dengan mekanisme normal terjadi di sebelah selatan dan tenggara Pulau Rumberpon. Data mekanisme fokal yang berupa sesar normal menunjukkan jurus yang relatif utara-selatan hingga timur laut-barat daya (dimodifikasi dari Pamumpuni, 2016).

Sesar normal di Pulau Rumberpon

Berdasarkan observasi geomorfologi Pulau Rumberpon, terdapat fitur geomorfologi yang menunjukkan morfologi khas sesar normal. Fitur-fitur geomorfologi khas sesar normal yang terpetakan antara lain di Pulau Rumberpon antara lain depresi atau cekungan yang dibatasi oleh sesar, gawir sesar yang menerus, laguna yang dibatasi oleh gawir sesar, lembah yang linear, dan *relay-ramp*. Sesar dengan geometri *overlapping* dan *overstep* (Peacock dkk., 2000) juga teramati di Pulau Rumberpon (**Gambar 3a**).

Zona dengan bentukan depresi yang memanjang dan dibatasi oleh sesar terlihat jelas pada laguna di tengah pulau. Laguna ini terlihat dibatasi oleh sesar di bagian timur, sedangkan di bagian barat memiliki lereng landai sehingga bentuk yang lebih membusur. Gawir sesar utara-selatan yang membatasi laguna ini terlihat menunjukkan adanya sesar dengan kemiringan ke barat sebagai sesar pembentuk cekungan laguna (**Gambar 3a**).

Gawir yang terlihat di Pulau Rumberpon sangat jelas memperlihatkan arah utara selatan. Gawir-gawir ini memiliki ketinggian 50-100 m. Terlihat pada Gambar 3b, penampang topografi menunjukkan adanya gawir yang berjajar. Paling tidak terdapat dua deretan gawir sesar yang jelas terlihat, yaitu di bagian timur pulau, gawir yang membatasi laguna dan gawir sebelah barat dari puncak punggung tertinggi di Pulau Rumberpon (**Gambar 2a**). Gawir-gawir sesar yang ada membatasi lembah-lembah yang memanjang yang ada.

Geometri sesar normal

Geometri sesar-sesar yang ada memperlihatkan adanya jaringan sesar normal. Jaringan sesar normal membentuk deretan sesar dengan arah kemiringan yang sama, ke barat. Beberapa sesar di bagian utara pulau menunjukkan adanya kemiringan yang seragam, yaitu kemiringan ke barat. Di bagian tengah pulau, terlihat adanya gawir sesar yang juga memiliki kemiringan ke timur. Adanya interpretasi sesar yang membatasi lembah yang memanjang ini kemungkinan berupa *conjugate fault*.

Bagian selatan pulau memiliki jaringan sesar yang lebih kompleks dengan *throw* masing-masing sesar yang lebih kecil, hal ini juga terlihat dari tidak adanya gawir yang cukup jelas, misalnya dengan perbedaan tinggi yang besar, sedikit berbeda dengan daerah utara pulau. Namun di bagian selatan pulau terlihat adanya kemiringan sesar yang berbeda-beda yang disertai dengan *relay ramp*, *overlap*, dan *overstep fault*.

Dari morfologi dapat terlihat beberapa bentukan khas sesar normal di Pulau Rumberpon. bentukan *domino-style* dari sesar-sesar normal sangat jelas mempengaruhi geomorfologi Pulau Rumberpon, terutama di bagian utara pulau. Bentuk morfologi lembah yang memanjang terlihat juga sebagai bagian dari cekungan yang dibentuk oleh sesar normal, baik berupa graben yang dibentuk oleh dua sesar normal yang berlawanan kemiringannya, maupun oleh sesar yang memiliki kemiringan yang sama. Beberapa perbedaan kemiringan sesar diakomodasi oleh bentukan *relay ramp*, *overstep*, dan *overlap fault* yang teramati di sebelah selatan sesar.

Aktivitas Sesar Rumberpon

Karakter geomorfologi Sesar Rumberpon menunjukkan sesar yang ada terbentuk sangat muda. Gawir-gawir sesar terlihat jelas memotong dan membentuk morfologi saat ini. Teramati juga bahwa struktur dengan arah lain terpotong oleh sesar normal utara-selatan. Karakter geomorfologi tersebut menunjukkan Sesar Rumberpon sebagai sesar aktif. Data kegempaan yang menunjukkan mekanisme sesar normal sesuai dengan geometri Sesar Rumberpon.

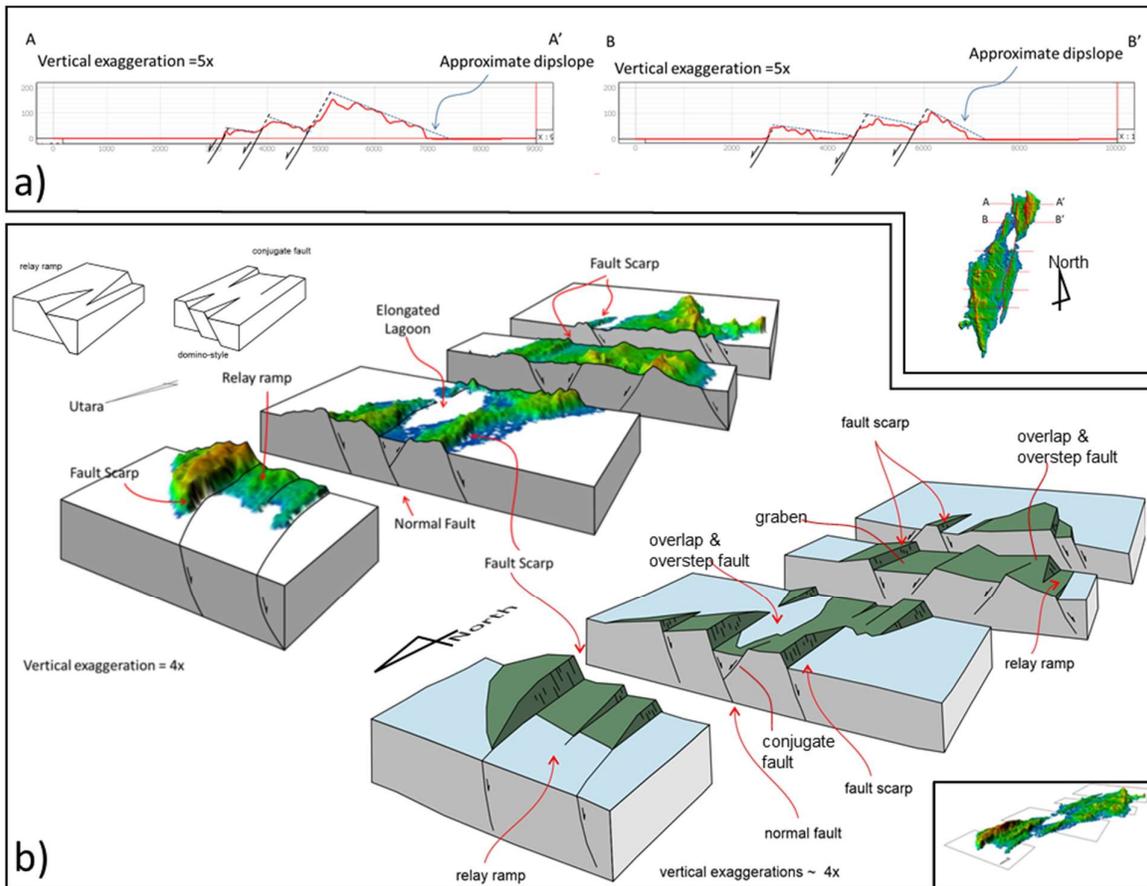
Mekanisme tektonik pembentukan

Sesar normal dengan arah utara selatan ini secara tektonik berkaitan dengan dinamika tektonik di Papua, terutama di bagian utara. Secara umum jika kita membagi menjadi tiga blok utama di area Leher Burung, Kepala Burung, dan Teluk Cendrawasih. Ilustrasi pada Gambar 4 (kiri bawah) menunjukkan tiga blok utama tersebut. Tiga blok ini dipengaruhi atau

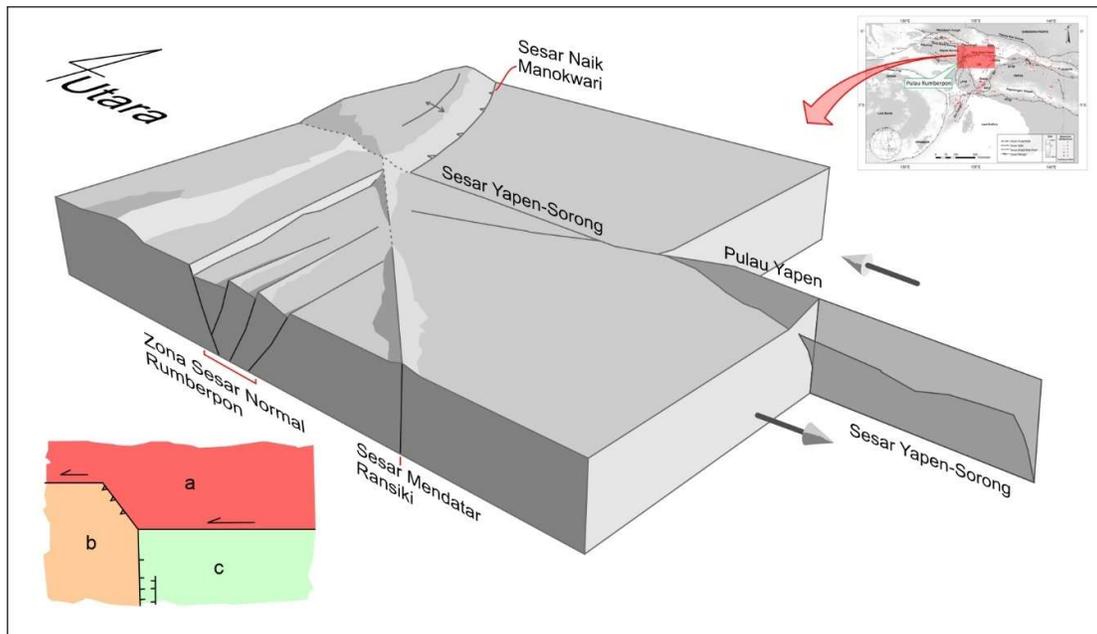
dibatasi oleh beberapa sesar utama, antara lain Sesar Yapen, Sesar Naik Manokwari, Sesar Ransiki, dan juga struktur utara selatan. Sesar Yapen dan Sesar Sorong membatasi blok utara (blok a pada **Gambar 4**) dengan blok di selatannya (blok b dan c). Kepala Burung (dan Leher Burung) dan Teluk Cendrawasih dibatasi oleh struktur utara selatan (antar blok b dan c pada **Gambar 4**). Sesar Rumberpon berada di batas antara Kepala Burung dan Teluk Cendrawasih. Mekanisme pembentukan Sesar Rumberpon yang berupa sesar normal ini dikarenakan adanya pergerakan blok utara

(blok a pada **Gambar 4**) melalui Sesar Yapen yang mengalami pembelokan ke utara ke Sesar Sorong yang diakomodasi oleh Sesar Naik Manokwari di utara dan Sesar Normal Rumberpon di selatan. Sesar Yapen, meskipun terdapat cabang arah barat daya-timur laut, kemungkinan sesar tersebut bergabung atau berhenti di Sesar Ransiki.

Sesar Rumberpon merupakan sesar normal dengan karakteristik berupa domino-style yang dicirikan adanya kemiringan lapisan dan bagian yang naik dan turun pada morfologinya.



Gambar 3 a) Penampang morfologi barat-timur di bagian utara Pulau Rumberpon yang menunjukkan adanya seri sesar normal dengan kemiringan ke barat. b) Diagram blok yang menunjukkan sesar normal dan morfologi yang teramati di permukaan di Pulau Rumberpon. beberapa tipe morfologi menunjukkan adanya *relay ramp*, *domino-style*, gawir sesar, lembah *graben*, *overlap* dan *overstep*.



Gambar 4 Mekanisme pembentukan Sesar Rumberpon yang sangat dipengaruhi oleh Sesar Yapen-Sorong dan Sesar Ransiki. Blok utara dari sesar mendatar Yapen-Sorong secara mekanik mendorong area Kepala Burung menyebabkan terbentuknya Sesar Manokwari

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisis yang dilakukan, Sesar Rumberpon merupakan sesar normal dengan morfologi yang khas dan menunjukkan aktivitas sesar. Morfologi berupa gawir sesar, *relay-ramp*, laguna memanjang yang dibatasi gawir, blok *domino style*. Berdasarkan data kegempaan, sesar-sesar yang diidentifikasi di Pulau Rumberpon merupakan sesar aktif yang membangkitkan gempa dengan mekanisme sesar normal. Mekanisme pembentukan Sesar Rumberpon terkait dengan pergerakan Sesar Yapen yang mengalami pembelokan ke kanan menuju Sesar Sorong di Kepala Burung. Adanya pembelokan ke kanan dari sesar sinistral menyebabkan adanya Sesar Naik Manokwari dan Sesar Normal Rumberpon. Sebelumnya daerah Leher Burung dikenal dengan sesar-sesar naik bagian dari Zona Lipatan dan Sesar Naik Lengguru, namun berdasarkan bukti morfologi yang ada, yang sedang berlangsung saat ini adalah sesar dengan mekanisme normal dengan arah utara selatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K., dan Richards, P. G. (1980): *Quantitative seismology: theory and methods*, W. H. Freeman, San Francisco, 704.
- Atmawinata, S., Hakim, A. S., dan Pieters, P. E. (1989): Peta Geologi Lembar Ransiki, Irian Jaya, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Burbank, D. W., dan Anderson, R. S. (2012): *Tectonic Geomorphology* (J. W. & Sons, Ed.), Blackwell.
- DEMNAS. (n.d.): , retrieved February 22, 2022, from internet: <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>.
- Ekström, G., Nettles, M., dan Dziewonski, A. M. (2012): The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **9**, 200–201.
- Pamumpuni, A. (2016): *Neotektonik Papua, Indonesia*, Institut Teknologi Bandung.
- Peacock, D. C. P., Knipe, R. J., dan Sanderson, D. J. (2000): Glossary of normal faults, *Journal of Structural Geology*, **22**(3), 291–305.

[https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(00\)80102-9](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(00)80102-9)

- Pustlitbang PUPR (2017): *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Pusat Studi Gempa Nasional dan Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- QGIS Development Team (2022): QGIS Geographic Information System, retrieved from internet: <https://www.qgis.org>.
- Sieh, K., dan Natawidjaja, D. (2000): Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia, *J. Geophys. Res.*, **B12**, 28295–28326.
- Suggate, S., dan Hall, R. (2003): Predicting sediment yields from Southeast Asia: a GIS approach, *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association (IPA)*, 1, Jakarta, 1–16.
- Wang, Y., Sieh, K., Tun, S. T., Lai, K.-Y., dan Myint, T. (2014): Active tectonics and earthquake potential of the Myanmar region, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **4**, 3767–3822.
- Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J., dan Wobbe, F. (2013): Generic Mapping Tools: Improved Version Released, Eos, *Transactions American Geophysical Union*, **45**, 409–410.
- Yeats, R. S., Sieh, K. E., dan Allen, C. R. (1997): *The geology of earthquakes*, Oxford University Press, New York.