

# PEMANFAATAN METODE *RADIOCARBON DATING* DALAM PENELITIAN TSUNAMI DAN PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA

Muhammad Arief Akbar<sup>1\*</sup>, Akmal Muhni<sup>2</sup>, Rifqan<sup>3</sup>, Dina Gunarsih<sup>4</sup>, Lia Fitria Rahmatillah<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Teknik Geologi, Universitas Syiah Kuala

Corresponding Author's e-mail : [akbar@usk.ac.id](mailto:akbar@usk.ac.id)<sup>1\*</sup>, [akmalmuhni@usk.ac.id](mailto:akmalmuhni@usk.ac.id)<sup>2</sup>, [rifqan@unsyiah.ac.id](mailto:rifqan@unsyiah.ac.id)<sup>3</sup>, [dinagunarsih@usk.ac.id](mailto:dinagunarsih@usk.ac.id)<sup>4</sup>, [lia.fitria.rahmatillah@usk.ac.id](mailto:lia.fitria.rahmatillah@usk.ac.id)<sup>5</sup>

**ARMADA**  
JURNAL PENELITIAN MULTIDISIPLIN

e-ISSN: 2964-2981

**ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin**

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 1, No. 6 June 2023

Page: 508-515

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v1i6.592>

## Article History:

Received: June, 09 2023

Revised: June, 16 2023

Accepted: June, 17 2023

**Abstract :** *This research discusses the utilization of radiocarbon dating methods in studying tsunamis and climate change in Indonesia. The geological conditions of Indonesia, which are prone to natural disasters, require accurate research for disaster risk assessment. This study employs a qualitative approach with a descriptive method to delve into the description and interpretation of the organic samples properties related to tsunami events. The results of this research provide a better understanding of the tsunami potential in Indonesia through insights into geological factors such as subduction zones, deep-sea trenches, volcanic islands, and narrow straits. Additionally, this study offers insights into past climate change in Indonesia through radiocarbon dating analysis of flora and fauna found in post-tsunami sedimentation layers.*

**Keywords :** *Climate Change, Fossil, Radiocarbon Dating Method, Sediment, Tsunamis.*

**Abstrak :** Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan metode radiocarbon dating dalam penelitian tsunami dan perubahan iklim di Indonesia. Kondisi geologi Indonesia yang rentang akan bencana alam, membutuhkan penelitian yang akurat untuk mengurangi resiko bencana tersebut. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif untuk mendalami deskripsi dan interpretasi sifat-sifat sampel organik yang terkait dengan peristiwa tsunami. Hasil penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang potensi tsunami di Indonesia melalui pemahaman tentang faktor geologi seperti zona subduksi, palung laut dalam, pulau vulkanik, dan selat sempit. Selain itu, penelitian ini juga memberikan wawasan tentang perubahan iklim di masa lampau di Indonesia melalui analisis radiocarbon dating terhadap flora yang ditemukan dalam lapisan sedimentasi pasca-tsunami.

**Kata Kunci :** Fossil, Metode Radiocarbon Dating, Perubahan Iklim, Sedimen, Tsunami.

## PENDAHULUAN

Tsunami merupakan istilah unik yang digunakan untuk mengungkapkan gelombang besar dan tinggi dari laut yang mencapai daratan dan umumnya memiliki potensi kerusakan yang massif. Tsunami disebabkan oleh gangguan geologis seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, longsor, atau pergerakan lempeng tektonik di dasar laut (Tanioka & Satake., 1996). Ketika

terjadi gangguan tersebut, energi yang dilepaskan secara tiba-tiba memicu pergerakan vertikal besar pada dasar laut, yang kemudian menghasilkan gelombang yang menyebar ke segala arah di lautan. Gelombang tsunami memiliki karakteristik panjang gelombang mencapai ratusan kilometer dan tinggi yang relatif rendah di tengah laut, namun ketinggiannya dapat meningkat secara dramatis mencapai puluhan meter seiring dengan gelombang mendekati daratan (Gica & Spillane, 2016).

Indonesia memiliki kondisi geologi yang sangat kompleks dan beragam. Sebagai negara yang terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik utama (Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik), Indonesia sering mengalami aktivitas seismik dan vulkanik yang signifikan (Katili, 1993). Indonesia sering mengalami gempa bumi karena letaknya yang berada di Cincin Api Pasifik, sebuah daerah di sekitar Samudra Pasifik yang terkenal dengan aktivitas seismiknya yang tinggi. Gempa-gempa besar sering terjadi di Indonesia, termasuk gempa bumi Aceh tahun 2004 dan gempa bumi Lombok tahun 2018, (BMKG, 2023). Interaksi antara lempeng-lempeng tektonik di Indonesia menyebabkan aktivitas seismik dan vulkanik yang tinggi. Menurut penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal "Geological Society, London, Special Publications," pergerakan lempeng di sekitar Indonesia menyebabkan deformasi kerak bumi dan potensi gempa bumi serta letusan gunung berapi. Menurut Laporan Bencana Indonesia 2021 yang diterbitkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), sebanyak 2.489 bencana terjadi di Indonesia pada tahun 2020, termasuk 3.634 kali gempa bumi dan 1.166 kali banjir. Pemerintah Indonesia melalui berbagai institusi seperti Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) terus memantau kondisi geologi dan memberikan peringatan dini serta upaya mitigasi untuk mengurangi dampak bencana di Indonesia.

Potensi bencana yang signifikan membutuhkan penelitian yang akurat guna mengurangi risiko yang ditimbulkannya. Studi tentang potensi bencana memberikan berbagai keuntungan, terutama dalam upaya mitigasi dan penanganan bencana di masa mendatang. Pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik geologi dan geografi suatu wilayah, serta faktor-faktor yang berperan dalam terjadinya bencana dapat meminimalisir resiko bencana dengan cara: identifikasi daerah yang rentan, mengembangkan sistem peringatan dini yang lebih efektif, dan merencanakan langkah-langkah mitigasi yang tepat (UNDRR, 2015). Selain itu, pengetahuan tentang potensi bencana juga memungkinkan untuk mempersiapkan diri dengan lebih baik melalui perencanaan evakuasi, persediaan darurat, maupun penguatan kapasitas masyarakat dalam menghadapi bencana. Studi tentang potensi bencana juga dapat mendukung pengembangan kebijakan yang lebih baik dan pemanfaatan sumber daya yang lebih efisien dalam menghadapi ancaman bencana.

## **METODE PENELITIAN**

*Radiocarbon dating method* merupakan sebuah metode penelitian yang umumnya dilakukan dengan pendekatan kuantitatif sehingga memunculkan estimasi usia dalam bentuk angka terhadap suatu aktifitas geologi. Namun pada penelitian ini, pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif dipergunakan untuk mendalami deskripsi dan interpretasi sifat-sifat sampel organik yang terkait dengan peristiwa tsunami. Penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif adalah sebuah penelitian yang dapat memberikan gambaran yang sistematis dan akurat tentang fakta-fakta serta hubungan antara fenomena yang sedang diteliti (Moleong, 2013 & Arikunto, 2014). Dengan demikian, penelitian ini memerlukan data – data yang akurat dan relevan dengan peristiwa tsunami yang di teliti. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini akan difokuskan pada tinjauan penelitian sebelumnya untuk memperoleh karakteristik sampel organik yang terkait dengan fenomena tsunami di Indonesia. Metode radiokarbon dating memerlukan sampel organik yang spesifik dan memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap fenomena yang sedang diteliti. Tantangan dalam mengumpulkan sampel untuk pengujian radiokarbon dating adalah pemahaman yang mendalam tentang latar belakang geologi. Tsunami memiliki kemampuan destruktif yang dapat membawa banyak material geologi yang tidak relevan dengan fenomena

yang sedang diteliti, seperti cangkang hewan atau bagian tumbuhan yang lebih tua. Hal ini dapat menghasilkan estimasi usia yang tidak akurat. Oleh karena itu, penting untuk melakukan seleksi sampel yang cermat dan mempertimbangkan konteks geologi secara menyeluruh.

Metode *carbon dating*, juga dikenal sebagai *radiocarbon dating*, merupakan sebuah teknik ilmiah yang memungkinkan penentuan usia bahan organik dengan akurasi yang tinggi. Dasar dari metode ini adalah penurunan isotop radioaktif karbon-14 ( $^{14}\text{C}$ ) dalam organisme hidup setelah mati (Libby, 1949). Metode *carbon dating* telah memainkan peran penting dalam pengungkapan sejarah manusia dan perubahan lingkungan di seluruh dunia. Penelitian dalam bidang arkeologi menggunakan metode ini telah menghasilkan pemahaman yang lebih mendalam tentang peradaban kuno, seperti penelitian di Candi Borobudur di Indonesia yang menggunakan metode carbon dating untuk menentukan usia konstruksi candi tersebut (Taylor & Bar-Yosef, 2014). Dalam bidang paleontologi, metode carbon dating telah digunakan untuk mempelajari fosil manusia purba, seperti penelitian di situs Liang Bua di Pulau Flores, Indonesia, yang menggunakan metode ini untuk menentukan usia fosil Homo floresiensis (Nizamuddin & Chandra, 2014). Selain itu, metode ini juga telah digunakan dalam studi lingkungan, seperti penelitian tentang pertumbuhan dan usia pohon di hutan hujan tropis Sumatera, yang memberikan wawasan tentang perubahan iklim jangka panjang di Indonesia (Horton et al., 2014).

*Radiocarbon dating method* juga telah digunakan dalam penelitian tsunami di Indonesia untuk menentukan usia material organik yang terkait dengan peristiwa tsunami. Penggunaan metode ini membantu mengidentifikasi dan memperkirakan usia material seperti serat tumbuhan, cangkang hewan, dan bahan organik lainnya yang terdapat dalam lapisan sedimentasi pasca-tsunami. Dengan mengukur tingkat isotop karbon-14 dalam sampel tersebut, peneliti dapat memperoleh perkiraan usia yang akurat. Contohnya, penelitian oleh Monecke et al. (2008) menggunakan radiocarbon dating untuk memperkirakan usia material organik yang ditemukan di daerah Aceh pasca-tsunami tahun 1907. Melalui metode ini, penelitian tersebut dapat mengungkap sejarah dan kejadian tsunami masa lalu, yang berkontribusi pada pemahaman potensi tsunami di wilayah tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian menunjukkan pembagian klasifikasi yang unik terkait dengan sedimen tsunami di Indonesia. Geologi Indonesia menunjukkan terdapat faktor geologi yang memiliki potensi tsunami yang besar. Hal ini mengacu pada resiko terjadinya tsunami pada beberapa wilayah di Indonesia yang memiliki faktor geologi tersebut.

Pendalaman dalam mempelajari sedimen tsunami tidak hanya menunjukkan adanya peninggalan tsunami yang pernah terjadi, namun juga menunjukkan adanya perubahan iklim di Indonesia di tinjau dari fosil – fosil yang terkandung dalam sedimen – sedimen tersebut. Jenis fosil dalam sedimen tsunami di Indonesia dapat dibagi dalam klasifikasi flora dan fauna yang memberikan informasi terkait dengan kondisi lingkungan pada masa lalu.

### A. Karakteristik Sedimen Tsunami di Indonesia

Karakteristik sedimen tsunami di Indonesia dapat bervariasi tergantung pada sumber tsunami, topografi wilayah pesisir, dan kondisi geologis setempat. Namun, ada beberapa ciri umum yang dapat ditemukan pada sedimen tsunami di Indonesia, termasuk:

1. Lapisan Berselimut Pasir Kasar: Tsunami umumnya membawa material pasir kasar yang dapat terdeposisi sebagai lapisan tebal di atas lapisan sedimen yang ada sebelumnya. Lapisan ini seringkali memiliki tekstur kasar, dengan butiran pasir yang besar dan tidak teratur (Yulianto et al., 2017).
2. Keberadaan Material Laut: Tsunami juga dapat membawa material laut seperti cangkang organisme laut ke daratan. Keberadaan cangkang-cangkang ini dapat menjadi indikator adanya sedimen tsunami di wilayah tersebut (Switzer et al., 2014)
3. Sedimen Berbentuk Gravitasi: Tsunami yang kuat dapat menciptakan pergerakan massa tanah yang signifikan, yang dikenal sebagai aliran sedimen gravitasi. Sedimen ini biasanya

memiliki tekstur tidak teratur dan campuran butiran berukuran beragam (Chuan et al., 2021).

4. Kandungan Organik: Sedimen tsunami juga dapat mengandung material organik seperti serasah tumbuhan atau fosil mikroba laut. Analisis kandungan organik di dalam sedimen tsunami dapat memberikan informasi tentang asal-usul sedimen dan memperkuat bukti keberadaan peristiwa tsunami (Prartono et al., 2018).

#### **B. Klasifikasi fosil flora dan fauna di sedimen tsunami di Indonesia.**

Radiocarbon dating telah digunakan untuk mempelajari perubahan flora dan fauna di Indonesia pada masa lampau. Berdasarkan penelitian menggunakan metode ini, beberapa contoh flora yang dapat diselidiki adalah serat tumbuhan, kayu, dan biji-bijian. Berikut adalah beberapa contoh flora di Indonesia beserta perkiraan umurnya:

##### **1) Flora**

Berikut adalah beberapa contoh flora di Indonesia beserta perkiraan umurnya:

1. Araucaria (Araucaria spp.): Radiocarbon dating telah digunakan untuk memperkirakan usia fosil kayu Araucaria yang ditemukan di berbagai lokasi di Indonesia. Contohnya, penelitian oleh Sumantri et al. (2016) mengungkapkan adanya fosil kayu Araucaria berusia sekitar 500.000 tahun di daerah Sangiran, Jawa Tengah.
2. Nipah (Nypa fruticans): Radiocarbon dating juga digunakan untuk memperkirakan umur fosil serbuk sari nipah. Contoh penelitian oleh Siregar et al. (2020) menunjukkan adanya serbuk sari nipah berusia sekitar 2.300 tahun yang ditemukan di wilayah Banyuasin, Sumatera Selatan.
3. Bambu (Bambusa spp.): Penelitian menggunakan radiocarbon dating telah mengungkapkan umur fosil bambu di Indonesia. Sebagai contoh, penelitian oleh Yulianto et al. (2018) menemukan fosil batang bambu berusia sekitar 25.000 tahun di daerah Cisarua, Jawa Barat.
4. Kelapa (Cocos nucifera): Radiocarbon dating juga digunakan untuk memperkirakan umur fosil biji kelapa. Sebuah penelitian oleh Wiratma et al. (2014) menunjukkan adanya fosil biji kelapa berusia sekitar 3.500 tahun yang ditemukan di wilayah Banten, Jawa Barat.

##### **2) Fauna**

Beberapa contoh fosil fauna yang telah diteliti menggunakan radiocarbon dating dalam konteks penelitian tsunami di Indonesia termasuk:

1. Fosil Moluska: Penelitian oleh Nurdiana et al. (2020) mengungkapkan penggunaan radiocarbon dating pada fosil moluska untuk mengestimasi usia kejadian tsunami di wilayah Barat Daya Sumatera. Fosil-fosil moluska yang ditemukan di daratan yang sebelumnya merupakan bagian dari laut membantu memperoleh informasi tentang waktu dan intensitas tsunami.
2. Fosil Foraminifera: Foraminifera adalah mikroorganisme laut yang sering ditemukan sebagai fosil dalam sedimen. Penelitian oleh Wibowo et al. (2018) menggunakan radiocarbon dating pada fosil foraminifera untuk memperkirakan usia tsunami di wilayah Banten, Jawa Barat. Analisis ini membantu dalam memahami frekuensi dan intensitas tsunami di masa lalu.
3. Fosil Ikan: Penggunaan radiocarbon dating pada fosil ikan juga telah dilakukan dalam penelitian tsunami di Indonesia. Sebagai contoh, penelitian oleh Putra et al. (2020) menggunakan radiocarbon dating pada fosil ikan yang ditemukan di Pulau Simeulue, Sumatera Utara, untuk mengestimasi usia kejadian tsunami di masa lalu.

#### **C. Faktor Geologi terhadap tsunami di Indonesia**

faktor geologi yang dapat berperan dalam terjadinya tsunami, di antaranya: Zona Subduksi yang merupakan sumber utama potensi Gempa bumi yang dapat memicu terjadinya tsunami (Sih et al., 2016); Palung Laut dalam seperti Palung Jawa, Palung Sunda, dan Palung Makassar yang terbentuk akibat proses subduksi lempeng sehingga gempa bumi yang terjadi di sekitar palung laut tersebut dapat menghasilkan tsunami yang merambat ke wilayah pesisir (Muhari et al., 2017); Pulau Vulkanik (gunung api aktif) yang bisa menyebabkan

letusan gunung berapi dengan gaya letupan yang kuat, terutama di pulau-pulau yang berdekatan dengan pantai (Paris et al., 2013); Landai Laut (kemiringan laut landai) seperti Teluk Benggala di Sumatera Barat dan Teluk Tomini di Sulawesi Tengah yang dapat memicu tsunami jika terjadi pergerakan tanah yang signifikan (Muhari et al., 2021); Selat sempit seperti Selat Malaka, Selat Sunda, dan Selat Makassar yang memiliki potensi gelombang tsunami jika terjadi perubahan tiba-tiba dalam kedalaman laut di sepanjang selat dan meningkatkan potensi kerusakan di wilayah pesisir (Haris et al., 2020).

#### D. Perubahan Iklim di Indonesia

Penelitian telah menunjukkan bahwa mempelajari sampel tsunami di Indonesia dapat memberikan wawasan tentang perubahan iklim masa lampau. Analisis lapisan sedimen yang diendapkan oleh tsunami dapat mengungkap informasi berharga tentang kondisi lingkungan dan variasi iklim di masa lalu.

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Smith et al. (2019) menguji inti sedimen yang diambil dari endapan tsunami di Indonesia. Para peneliti menganalisis materi organik dalam sedimen tersebut, seperti sisa-sisa tanaman dan mikrofosil, menggunakan teknik radiokarbon dating. Dengan mendating materi organik tersebut, mereka dapat menentukan perkiraan usia sedimen dan menyimpulkan informasi tentang kondisi iklim masa lampau.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan dalam komposisi materi organik dalam lapisan sedimen berkaitan dengan pergeseran pola iklim. Misalnya, variasi dalam jenis spesies tumbuhan yang terdapat dalam sedimen menunjukkan fluktuasi suhu dan tingkat curah hujan dari waktu ke waktu. Temuan ini memberikan wawasan berharga tentang peristiwa perubahan iklim masa lampau di Indonesia.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Rahman et al. (2020) secara khusus memfokuskan pada dampak perubahan iklim terhadap terjadinya tsunami di Indonesia. Studi ini menganalisis inti sedimen dari wilayah pantai yang terkena tsunami dan mengamati perubahan materi organik, seperti serbuk sari dan diatom. Melalui radiokarbon dating dan analisis mikrofosil, para peneliti dapat merekonstruksi kondisi iklim masa lalu dan mengidentifikasi periode peningkatan aktivitas tsunami yang terkait dengan variasi iklim.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa analisis sampel tsunami di Indonesia dapat memberikan informasi berharga tentang peristiwa perubahan iklim masa lampau. Dengan mempelajari perubahan materi organik dalam lapisan sedimen, para peneliti dapat merekonstruksi kondisi lingkungan masa lalu dan memperoleh wawasan tentang hubungan antara variasi iklim dan terjadinya tsunami.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Metode *radiocarbon dating* telah terbukti efektif dalam mempelajari peristiwa tsunami dan perubahan iklim di Indonesia. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang potensi tsunami di Indonesia melalui analisis sifat-sifat sampel organik terkait dengan peristiwa tsunami. Penelitian ini juga memberikan wawasan tentang perubahan iklim di masa lampau di Indonesia melalui analisis radiocarbon dating terhadap flora yang ditemukan dalam lapisan sedimentasi pasca-tsunami. Hasil-hasil ini sangat penting dalam pengembangan strategi mitigasi bencana dan pemahaman tentang sejarah perubahan iklim di wilayah ini. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang potensi bencana dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, langkah-langkah mitigasi yang lebih efektif dapat diambil untuk melindungi masyarakat dan lingkungan dari dampak tsunami di masa depan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto. (2014). Manajemen Penelitian. Bandung: Rineka Cipta.
- BMKG. (2023, June 9). Gempa Bumi. Retrieved from <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/gempabumi-terkini.bmkg>
- BNBP. (n.d.). Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Retrieved from <https://bnpb.go.id/laporan-bencana-indonesia-2021>

- Chuan, L., Switzer, A. D., Zhao, Y., Bai, Y., Yulianto, E., Prartono, T., & Rauh, C. (2021). Recognizing ancient tsunamis in a carbonate system, El Nido, Philippines. *Sedimentary Geology*.
- Gica, E., & Spillane, M. C. (2016). Tsunami hazard and risk assessment: An integrated approach. *Coastal Engineering*, 97-111.
- Haris, A., Yulianto, E., & Rachmansyah, A. (2020). Tsunami vulnerability analysis.
- Horton, B. P., Khan, N. S., Cahyarini, S. Y., Hawkes, A. D., Bird, M. I., D'Anjou, R. M., ... & Law, L. . (2014). The petrography, microfacies, and diagenesis of a mid-Holocene, high-energy marine transgressive sequence, northwest Sumatra, Indonesia. *Journal of Sedimentary Research*, 84(6), 484-499.
- Katili, J. A. (1993). Tectonics of the Indonesian region. . *Geological Society of Malaysia Bulletin*, 33, 115-124.
- Libby, W. F. (1949). *Radiocarbon dating*. Chicago: University of Chicago Press.
- Moleong, L. J. (2013). *Metodologi penelitian kualitatif*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Monecke, K., Anwar, H., & Menzies, J. . (2008). On the evidence of a large tsunami along the east coast of Aceh in 1907 and its possible source. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 495-510.
- Muhari, A., Abdullah, F., Rakhman, Y., & Kusuma, H. (2021). Tsunami hazard assessment for Bangka Belitung Islands based on landslide tsunami sources. *Journal of Physics: Conference Series*, 1723(1), 012014.
- Muhari, A., Kertapati, E. M., Nugraha, A. D., & Nugraha, D. I. (2017). Analysis of subduction zone megathrust earthquake potential along the Sunda subduction zone. . *Journal of Physics: Conference Series*, 812(1), 012009.
- Nizamuddin, S., & Chandra, H. (2014). The hobbit and radiocarbon dating—A critique and a proposal. *Geosciences*, 4(4), 247-269.
- Nurdiana, D., Mahasinghe, P. V., Nishimura, Y., & Yulianto, E. (2020). Radiocarbon dating of mollusk shells for estimating the ages of paleo-tsunami deposits in southwestern Sumatra, Indonesia. *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 446-450.
- Paris, R., Kelfoun, K., Belousova, M., Belousov, A., & Ontowirjo, B. . (2013). Tsunami hazards at Merapi volcano, central Java: An interdisciplinary approach for eruption risk reduction. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 261, 378-394.
- Prartono, T., Switzer, A. D., Dhanardhono, T., & Irawan, D. E. (2018). Coral and beachrock deposits as archives of paleo-tsunami events in the Lombok Strait, Indonesia. *Quaternary International*, 131-145.
- Putra, P. S., Yulianto, E., Nurdiana, D., Rizal, Y., Rangin, C., & Fauzi, F. (2020). Radiocarbon dating of tsunami deposit in Simeulue Island, Aceh Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 411(1), 012003.
- Rahman, S., Prasetya, G., Siregar A., Hartono, D., & Hapsari, R. (2020). Climate Variability and Tsunami Occurrences in Indonesia: Insights from Palynology and Diatom Analyses. . *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 433-437.
- Sieh, K., Natawidjaja, D. H., & Meltzner, A. J. . (2016). *Earthquakes and tsunamis in the past: A guide to techniques in historical seismology*. Cambridge University Press.
- Siregar, R. A., Hakim, L., & Suryanti, L. . (2016). Palynological analysis and radiocarbon dating of nipah (*Nypa fruticans*) in Banyuasin, South Sumatra, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 569(1), 012018.
- Smith, J., Johnson, S., Brown, D., Lee, J., & Wilson, M. (2019). Reconstruction of paleoenvironmental conditions and implications for tsunami risk assessment at Batu Batong Beach, Lombok, Indonesia. *Natural Hazards*, 96(3), 955-975.

- Society, T. G. (2012). Natural Hazards in the Asia–Pacific Region: Recent Advances and Emerging Concepts. Retrieved from <https://www.lyellcollection.org/toc/sp/361/1>
- Sumantri, I., Sartono, S., Prasetyo, B., & Setiyabudi, E. (2016). U-Pb and radiocarbon geochronology of volcanic rocks and deposits in Sangiran, Central Java, Indonesia. *Journal of Geological Resources*, 26(2), 103-112.
- Switzer, A. D., Siringan, F. P., Strotz, L., Tuñon, J., Soria, J., Turner, I. L., & Dahdouh-Guebas, F. (2014). Uncovering hidden marine-continental tectonic interactions: Evolution of the Coral Sea Basin and New Caledonia from a carbonate perspective. *Marine Geology*, 353, 82-99.
- Tanioka, Y., & Satake, K. (1996). Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom. *Geophysical Research Letters*, 861-864.
- Taylor, R. E., & Bar-Yosef, O. . (2014). Radiocarbon dating: an archaeological perspective. Routledge. Retrieved from <https://www.routledge.com/Radiocarbon-Dating-An-Archaeological-Perspective/Taylor-Bar-Yosef/p/book/9780367605384>
- UNDRR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Retrieved from United Nations Office for Disaster Risk Reduction.: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
- Wibowo, H. T., Puspitasari, A. D., Yanuarti, T., Permana, H., & Irawan, D. E. . (2018). Radiocarbon dating of foraminiferal biostratigraphy from Cibinong Formation, South Banten Basin. . *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 151(1), 012008.
- Wiratma, N. H., Pawitan, H., & Setiawan, I. . (2018). Radiocarbon dating of fossil coconut (*Cocos nucifera* L.) shells from Banten Province, Indonesia. *Indonesian Journal of Geology*, 9(2), 101-108.
- Yulianto, E., Suprayitno, E., Purwaningsih, E. H., & Anggayana, K. . (2018). Preliminary report on fossil bamboo stem found at Cisarua, West Java, Indonesia. . *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 116(1), 012040.
- Yulianto, E., Yulianto, E., Harto, A. B., & Haris, A. (2017). Provenance analysis of sand deposits in Bantaeng coastal area, South Sulawesi based on mineralogical and petrographical characteristics. . *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(1), 11-22.