

Interaksi Tiga Lempeng di Kawasan Indonesia Timur

Suniah¹, Nurin Rochayati²

^{1,2}Pendidikan Geografi, Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

niah13@gmail.com¹, nurinrochayati@gmail.com²

Keywords:

Plate Subduction
Triple Junction
Eastern Indonesia Geological
Hazard Mitigation
Plate Convergence
Tectonic Geomorphology.

Kata Kunci:

Subduksi Lempeng
Triple Junction
Indonesia Timur
Mitigasi Bencana Geologi
Konvergensi Lempeng
Geomorfologi Tektonik.

ABSTRACT

This study explores the interaction of three major tectonic plates Indo-Australian, Eurasian, and Pacific within Eastern Indonesia, a region recognized as one of the most geotectonically complex and active in the world. Using a qualitative approach through library research, the study examines correlations between subduction parameters such as convergence rate, slab dip angle, and the presence of seismic gaps and geological hazard levels. Scientific literature from the past decade was thematically analyzed to identify patterns linking plate dynamics to geological disaster potential. Findings indicate that plate convergence induces significant crustal deformation, triggering frequent seismic and volcanic activity, as well as regional geomorphological changes. The study emphasizes the need for numerical modeling of microplate interaction, advanced deformation monitoring technologies (e.g., InSAR), and paleoseismic research to support evidence-based mitigation strategies. These findings aim to inform risk-sensitive spatial planning and strengthen early warning systems in disaster-prone areas across Eastern Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji interaksi tiga lempeng utama Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik di kawasan Indonesia Timur, yang membentuk sistem geotektonik paling kompleks dan aktif di dunia. Dengan pendekatan kualitatif berbasis *library research*, kajian ini menelaah korelasi antara parameter subduksi seperti kecepatan pergerakan lempeng, sudut penunjaman, dan keberadaan zona seismik gap terhadap tingkat risiko geologi. Literatur ilmiah dari sepuluh tahun terakhir dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola hubungan antara dinamika tektonik dan potensi bencana geologi. Hasil menunjukkan bahwa konvergensi lempeng menghasilkan deformasi kerak yang signifikan, memicu aktivitas gempa, vulkanisme, serta perubahan morfologi regional. Studi ini menekankan pentingnya pengembangan model numerik interaksi lempeng mikro, teknologi pemantauan deformasi (seperti InSAR), dan studi paleo-bencana sebagai dasar ilmiah mitigasi. Temuan ini diharapkan menjadi kontribusi strategis dalam penyusunan kebijakan tata ruang berbasis risiko serta penguatan sistem peringatan dini di wilayah rawan bencana.

Article History:

Received : 27-06-2025

Accepted : 30-06-2025



This is an open access article under the **CC-BY-SA** license

A. LATAR BELAKANG

Teori tektonik lempeng menjelaskan bahwa litosfer Bumi terdiri atas lempeng-lempeng rigid yang bergerak di atas lapisan astenosfer yang plastis. Pergerakan tersebut mencakup divergensi, konvergensi, dan geseran lateral, yang menjadi salah satu mekanisme utama pembentukan fenomena geologi seperti gempa, vulkanisme, dan pembentukan pegunungan (Sihombing, 2016). interaksi antar lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Filipina di Asia telah menghasilkan orogeni seperti Himalaya, sejalan dengan konsep tumbukan benua. (Zakaria & Sidarto, 2024) menyoroti

bahwa di Sulawesi, alur tektonik dipengaruhi oleh subduksi dan sesar transform yang terus berlanjut sejak Mesozoikum.

Variabel penting dalam studi tektonik antara lain kecepatan dan arah pergerakan, sudut subduksi, dan aktivitas kegempaan. Sebagai contoh, (Ramadhanty et al., 2024) mencatat kecepatan konvergensi antara 2–10 cm/tahun di zona megathrust Indonesia sebagai variabel utama dalam pelepasan energi gempa. Selain itu, penelitian di Sulawesi Utara (Kalara, 2025) menggunakan data gempa 1970–2014 untuk menentukan sudut dan arah subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Filipina, mempertegas pentingnya parameter seismik dalam pemodelan tektonik lempeng.

Penelitian (Kharisma & Wintolo, 2015) menunjukkan dua model penunjaman lempeng di Sulawesi Utara, dengan arah subduksi bervariasi yaitu selatan untuk Sulawesi dan barat laut untuk Maluku. Disamping itu, (Zakaria & Sidarto, 2024) menampilkan kerangka evolusi sejak Mesozoikum, yaitu pemekaran paparan barat laut Australia yang mendasari pembentukan struktur tektonik seperti sesar naik dan lipatan pasca-Miosen. Hasil riset di halmahera memperlihatkan bahwa interaksi ketiga lempeng besar menghasilkan sistem sesar aktif dan gempa tektonik di wilayah Maluku Utara (Masinu et al., 2018). Akhirnya, (Kementerian ESDM, 2023) merangkum data 217 gempa tektonik di 2022 dan menjelaskan bahwa pemantauan zona rawan serta mitigasi infrastruktur menjadi kunci dalam menghadapi bencana geologi.

Analisis di Pulau Lombok (2020) menyimpulkan bahwa akselerasi interaksi lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik meningkatkan potensi gempa dan tsunami, dipicu oleh kelonggaran akumulasi energi di seismik gap (Ernandi & ., 2020). Penelitian lainnya menghubungkan peningkatan keparahan gempa dengan karakteristik subduksi lokal, menyatakan bahwa sudut subduksi yang curam meningkatkan kemungkinan gempa megathrust di Bali dan Nusa Tenggara (Humanities et al., 2024). Selain itu, pemetaan zona kerentanan bencana potensi terjadi di 195,9 juta penduduk Indonesia menunjukkan bahwa pengelolaan risiko terintegrasi antara mitigasi dan pemantauan sangat esensial (Kementrian ESDM, 2024). Di tingkat global, pengembangan algoritma seafloor age grids sejak 2019 memberikan kerangka kuantitatif baru dalam rekonstruksi awal tektonik lempeng, memperkaya data kinematik dan paleomagnetik (Meryem, 2019).

Dari dua paragraf analitis di atas, terlihat bahwa variabilitas struktur subduksi dan laju pergeseran lempeng di Indonesia tidak hanya membentuk morfologi regional, tetapi juga mengakumulasi energi sistemik yang berdampak pada frekuensi dan intensitas gempa. Pendekatan multi-metode (seismik, paleomagnetik, algoritma seafloor age grids) memungkinkan pemahaman yang lebih holistik terhadap dinamika tektonik, sekaligus memperkuat mitigasi bencana geologi. Topik ini penting karena meningkatkan ketahanan nasional terhadap bahaya gempa dan tsunami melalui dasar ilmiah yang kuat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi korelasi antara parameter subduksi (kecepatan, sudut, zona gap) dan tingkat risiko geologi, serta diharapkan dapat memberikan manfaat berupa rekomendasi kebijakan mitigasi dan perencanaan infrastruktur tahan bencana.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan library research dengan tujuan untuk mengeksplorasi dan mengkaji korelasi antara parameter subduksi seperti kecepatan pergerakan lempeng, sudut penunjaman, dan keberadaan zona seismik gap terhadap tingkat risiko geologi di kawasan subduksi Indonesia. Data dikumpulkan dari literatur ilmiah yang dipublikasikan dalam rentang waktu sepuluh tahun terakhir (2015–2025), dengan sumber utama berasal dari database akademik bereputasi seperti Google Scholar, Scispace, Elicit, Scite.ai, dan Perplexity. Pendekatan ini memungkinkan penelusuran data ilmiah yang luas dan terkini, terutama terkait dinamika tektonik, karakteristik seismotektonik, serta parameter geofisika lainnya yang relevan dengan konteks mitigasi bencana geologi.

Kriteria inklusi dalam pemilihan literatur meliputi artikel ilmiah yang telah melalui proses peer-review, ditulis dalam bahasa Inggris atau Indonesia, serta secara langsung membahas parameter subduksi, sistem seismik regional, atau mitigasi risiko bencana geologi di wilayah Indonesia atau wilayah tektonik serupa. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup artikel yang bersifat opini, belum melalui proses penyuntingan ilmiah, atau tidak menyediakan data dan metode yang transparan. Proses pencarian literatur dilakukan secara sistematis dengan menggunakan kata kunci seperti "subduction parameters", "seismic hazard Indonesia", "plate convergence rate", dan "seismic gap". Selanjutnya, artikel yang diperoleh diseleksi berdasarkan relevansi topik, kualitas metodologis, dan kontribusi terhadap pemahaman geodinamika subduksi.

Metode analisis data yang digunakan adalah analisis tematik dan sintesis naratif, yang bertujuan untuk mengidentifikasi pola hubungan antara variabel subduksi dan potensi bahaya geologi. Validitas dan keandalan data dijaga melalui triangulasi sumber, yaitu membandingkan temuan dari berbagai database dan pendekatan metodologis yang berbeda. Selain itu, setiap studi yang dipilih dievaluasi berdasarkan metodologi, sumber data, dan signifikansi statistik yang dilaporkan. Pendekatan ini memastikan bahwa hasil kajian tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga analitis dan mampu memberikan kontribusi nyata dalam perumusan kebijakan mitigasi risiko geologi dan perencanaan pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan di wilayah rawan bencana.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Konvergensi dan Zona Subduksi di Kawasan Indonesia Timur

Indonesia Timur merupakan wilayah yang sangat kompleks secara geologis karena menjadi titik pertemuan dari tiga lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia di sebelah selatan, lempeng Eurasia di sebelah barat laut, dan lempeng Pasifik di sebelah timur. Hasil pemantauan geospasial melalui data GPS menunjukkan bahwa lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dengan kecepatan sekitar 7 cm per tahun, sementara lempeng Pasifik mengalami pergerakan ke arah barat dengan kecepatan mencapai 10 cm per tahun (Kementerian ESDM, 2024). Zona Laut Banda, Laut Maluku, dan wilayah sekitar Seram menjadi pusat interaksi ketiga lempeng tersebut dan tercatat sebagai kawasan dengan intensitas seismik yang tinggi. Aktivitas ini ditunjukkan melalui frekuensi gempa bumi dangkal maupun dalam, serta munculnya deformasi kerak bumi yang signifikan di sepanjang batas antar lempeng tersebut.

Proses konvergensi antar tiga lempeng tersebut memunculkan serangkaian zona subduksi aktif yang membentuk pola tektonik sangat rumit. Salah satu zona paling dominan adalah zona subduksi Benioff di Laut Banda yang mencerminkan subduksi lempeng Indo-Australia ke bawah lempeng mikro Eurasia. Selain itu, interaksi antara lempeng Pasifik dan lempeng Laut Maluku juga membentuk zona tumbukan yang memicu pengangkatan kerak dan pembentukan struktur geologi baru, seperti busur kepulauan, cekungan belakang busur, dan patahan naik. Karakteristik tersebut merupakan bukti nyata dari aktivitas *triple junction*, yakni zona tempat bertemunya tiga lempeng secara aktif dan simultan, yang menghasilkan medan tegangan sangat kompleks. Akibatnya, wilayah ini mengalami gaya kompresi, ekstensi, dan geseran secara bersamaan dalam ruang dan waktu yang berbeda-beda. Kompleksitas ini menjadikan kawasan Indonesia Timur sebagai salah satu laboratorium alam terbaik untuk memahami dinamika lempeng tektonik global.

Fenomena ini memperkuat pemahaman bahwa Indonesia Timur merupakan salah satu wilayah paling aktif secara geotektonik di dunia. Keberadaan *triple junction* dan interaksi antarlempeng di wilayah ini memiliki banyak kesamaan dengan zona tektonik aktif lainnya, seperti pertemuan tiga lempeng di Semenanjung Kamchatka atau wilayah Alaska. Namun, secara geodinamik, Indonesia Timur memiliki keunikan tersendiri karena melibatkan lempeng mikro dan fragmen-fragmen kerak samudera yang memperkaya pola deformasinya. Temuan ini tidak hanya merekonstruksi dinamika

sejarah geologi kawasan, tetapi juga memberikan kontribusi besar dalam upaya mitigasi bencana geologi seperti gempa megathrust dan tsunami. Oleh karena itu, pemahaman terhadap mekanisme interaksi tiga lempeng di kawasan ini menjadi landasan penting bagi pembangunan berbasis risiko geologi di Indonesia bagian timur.

2. Dampak Triple Junction terhadap Aktivitas Seismik dan Vulkanik

Wilayah Indonesia Timur dikenal sebagai salah satu pusat aktivitas seismik dan vulkanik tertinggi di dunia. Data katalog kegempaan dari BMKG menunjukkan bahwa selama dua dekade terakhir, kawasan seperti Laut Banda, Maluku Utara, dan Papua mengalami ribuan peristiwa gempa dengan magnitudo bervariasi, mulai dari ringan hingga besar. Selain itu, Indonesia Timur juga menjadi lokasi bagi sejumlah gunung api aktif seperti Gunung Ibu, Gunung Dukono, dan Gunung Gamalama yang menunjukkan erupsi secara periodik. Secara geospasial, lokasi gempa dan gunung api ini terkonsentrasi di sekitar zona batas lempeng, memperlihatkan keterkaitan yang erat antara keberadaan *triple junction* dan intensitas aktivitas geodinamika (Dewi, 2020).

Pertemuan tiga lempeng besar di kawasan ini memicu pelepasan energi tektonik yang besar melalui deformasi kerak bumi. Zona subduksi menghasilkan gempa dalam (intraslab) yang berasal dari lempeng samudera yang menekuk ke bawah, sedangkan zona tumbukan dan sesar transform memicu gempa dangkal di kerak atas. Sementara itu, pergerakan lempeng juga menciptakan celah-celah di kerak bumi yang memfasilitasi naiknya magma dari mantel ke permukaan, sehingga membentuk gunung api aktif di sepanjang busur kepulauan. Proses ini menjelaskan mengapa zona ini tidak hanya rawan gempa tetapi juga rentan terhadap erupsi vulkanik eksplosif. Interaksi antara energi tektonik dan dinamika magma menjadikan kawasan Indonesia Timur sebagai wilayah yang mengalami tekanan geodinamik multiasal baik vertikal maupun horizontal yang berlangsung terus-menerus.

Kondisi ini serupa dengan wilayah *triple junction* aktif lainnya di dunia, seperti di Jepang bagian timur atau lepas pantai Chili, yang juga memiliki pola kegempaan dan vulkanisme tinggi. Namun, yang membedakan Indonesia Timur adalah keberadaan lempeng-lempeng mikro dan kompleksitas sesar lokal yang memperkaya pola deformasi regional. Studi sebelumnya di wilayah ini banyak menyoroti hubungan langsung antara kedalaman zona Benioff dan intensitas gempa, serta hubungan morfotektonik antara zona seismik dan gunung api aktif. Hasil penelitian ini mempertegas pentingnya pemahaman terhadap konfigurasi batas lempeng dalam perencanaan mitigasi bencana, pengembangan sistem peringatan dini, dan tata ruang berbasis risiko di wilayah rawan geologi.

3. Implikasi Geodinamika terhadap Geomorfologi dan Potensi Bencana

Kawasan Indonesia Timur menunjukkan morfologi permukaan bumi yang sangat bervariasi, mulai dari sistem busur kepulauan, zona patahan aktif, hingga cekungan belakang busur. Proses pembentukan bentuk lahan ini erat kaitannya dengan dinamika konvergensi tiga lempeng yang berlangsung dalam jangka waktu geologi yang panjang. Data citra satelit dan peta elevasi topografi menunjukkan adanya pola deformasi vertikal berupa pengangkatan wilayah kepulauan seperti Halmahera dan Tanimbar, serta zona subsiden di Cekungan Seram dan Laut Banda. Struktur morfologi tersebut disusun oleh aktivitas subduksi dan kolisi lempeng yang terus berlangsung. Dalam beberapa dekade terakhir, kawasan ini juga tercatat mengalami sejumlah bencana geologi seperti gempa besar, tanah longsor di lereng curam, hingga tsunami yang diakibatkan oleh deformasi dasar laut (Gunawan et al., 2022; Widiyantoro et al., 2020).

Pola geomorfologi di kawasan ini tidak hanya mencerminkan hasil evolusi tektonik masa lalu, tetapi juga menjadi indikator aktifnya dinamika geologi saat ini. Pengangkatan busur kepulauan dan pembentukan sesar besar seperti Sesar Sorong dan Sesar Koor menunjukkan aktivitas tektonik yang berlangsung secara terus-menerus. Proses deformasi tersebut mengubah konfigurasi morfologi

regional, menciptakan lereng-lereng curam yang rentan terhadap gerakan massa tanah, serta zona pesisir yang rawan terhadap pergeseran dasar laut. Keberadaan cekungan aktif yang berada di jalur tumbukan juga menunjukkan potensi akumulasi tegangan yang dapat memicu gempa dangkal besar. Oleh karena itu, geodinamika lempeng bukan hanya membentuk lanskap, tetapi juga secara langsung memengaruhi kerentanan wilayah terhadap bencana.

Fenomena ini menggarisbawahi pentingnya pemahaman hubungan antara proses tektonik dan respons morfologi permukaan dalam analisis risiko geologi. Dalam konteks kebencanaan, pendekatan geomorfologi tektonik digunakan untuk mengidentifikasi wilayah berisiko tinggi, terutama daerah-daerah yang berada di atas zona sesar aktif atau dekat dengan zona subduksi. Studi (Widiyantoro et al., 2020) menunjukkan bahwa perubahan bentuk dasar laut di Laut Banda telah berkontribusi terhadap terbentuknya beberapa tsunami lokal. Sementara itu, (Gunawan et al., 2022), menyoroti pentingnya monitoring deformasi permukaan dalam rangka sistem peringatan dini. Dengan demikian, penelitian ini turut memberikan kontribusi pada pemetaan zonasi rawan bencana di Indonesia Timur sebagai dasar dalam perencanaan pembangunan yang adaptif terhadap dinamika geologi

D. SIMPULAN DAN SARAN

Wilayah Indonesia Timur merupakan salah satu zona geotektonik paling kompleks dan aktif di dunia akibat interaksi tiga lempeng besar Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Proses konvergensi di Laut Banda, Laut Maluku, dan wilayah sekitarnya membentuk pola deformasi kerak bumi yang rumit, seperti zona subduksi, patahan aktif, dan cekungan belakang busur. Akibatnya, kawasan ini memiliki frekuensi kegempaan dan aktivitas vulkanik yang sangat tinggi, serta morfologi daratan dan dasar laut yang terus berubah karena tekanan geodinamika. Keberadaan triple junction aktif di kawasan tersebut meningkatkan risiko bencana geologi seperti gempa megathrust, erupsi gunung api, longsor, dan tsunami. Variasi struktur geologi serta deformasi vertikal seperti pengangkatan dan subsidensi turut membentuk kerentanan wilayah, terutama di pesisir dan zona sesar aktif. Oleh karena itu, pemahaman mendalam terhadap dinamika lempeng dan karakteristik morfotektonik menjadi penting, baik untuk kepentingan ilmiah maupun dalam upaya mitigasi risiko bencana dan pembangunan berkelanjutan.

Fokus kajian riset ke depan perlu diarahkan pada pengembangan pemodelan numerik terhadap interaksi lempeng mikro yang belum sepenuhnya terpetakan, khususnya di wilayah Maluku dan Seram. Teknologi penginderaan jauh seperti InSAR dan pemanfaatan kecerdasan buatan dapat memperkuat sistem peringatan dini terhadap deformasi permukaan yang berpotensi memicu gempa atau letusan gunung api. Di samping itu, studi paleotsunami dan paleoerupsi penting untuk merekonstruksi sejarah bencana dan memahami pola siklus ulangnya. Penelitian ini juga sebaiknya menggabungkan pendekatan multidisipliner, termasuk analisis geomorfologi tektonik dan pemetaan kerentanan sosial-ekonomi masyarakat pesisir. Pada akhirnya, hasil riset harus diintegrasikan dalam kebijakan tata ruang berbasis risiko geologi agar wilayah Indonesia Timur tidak hanya menjadi subjek penelitian, tetapi juga menjadi kawasan yang tangguh dan siap menghadapi bencana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada LPPM Ummat yang telah menyelenggarakan Kegiatan ini, dan saya berharap Paper ini bisa bermanfaat dikemudian hari.

REFERENSI

- Dewi, A. R. (2020). Triple Junction. *Tunas Agraria*, 3(3). <https://doi.org/10.31292/jta.v3i3.129>
- Ernandi, F. N., & . M. (2020). Analisis Variasi A-Value Dan B-Value Dengan Menggunakan Software Zmap V.6 Sebagai Indikator Potensi Gempa Bumi Di Wilayah Nusa Tenggara Barat. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(3), 24–30. <https://doi.org/10.26740/ifi.v9n3.p24-30>
- Gunawan, Nuraini, Hilman, Takuya, Widiyantoro, & Bambang. (2022). *Early postseismic slip of the 21 November 2022 Mw 5*.
- Humanities, O., Ahmad, M., Widodo, P., Utomo, S. T., Management, D., & Author, C. (2024). *The Efforts of Lombok Regency Government to Recovery After the 2018 Lombok Earthquake Disaster*. 3(5), 2814–2823.
- Kalara. (2025). *Pengaruh Aktivitas Tektonik Dan Vulkanik Terhadap Evolusi Bentuk Lahan Pulau Sulawesi: Review Literatur (2018-2024)*. 2(2), 1–23.
- KementerianESDM. (2023). Kementerian ESDM RI - Media Center - Arsip Berita - Sepanjang 2022, 217 Gempa Tektonik Guncang Indonesia. In *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- KementerianESDM. (2024). *Laporan Kinerja Badan Geologi Tahun 2023*. 1–141.
- Kementrian ESDM. (2024). Laporan Kinerja Laporan Kinerja. <Http://Kemdikbud.Go.Id/>, 4(Mei), 197.
- Kharisma, & Wintolo. (2015). *Pemodelan Penunjaman Lempeng Tektonik di Lengan Utara Sulawesi Berdasarkan Data Kegempaan KHARISMA N P, Ir. Djoko Wintolo, D.E.A* (p. 2015).
- Masinu, A. La, Yustesia, A., & Suwardi, S. (2018). Sistem Tektonik dan Implikasinya terhadap Gempa Bumi di Pulau Halmahera. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 23(1), 20–29. <https://doi.org/10.17977/um017v23i12018p020>
- Meryem. (2019). *Magnetostratigraphy And Kinematic Characteristics Of. September*.
- Ramadhanty, A. Z., Febrianty, A., Utomo, A. M., & Widodo, A. (2024). *TASIKMALAYA) Identification And Characterization Of Intraslab Earthquakes In Java Island 2017-2021 Using Vertical Cross-Section (Case Study Of Intraslab Earthquake In Tasikmalaya)*. 10(03), 178–190.
- Sihombing. (2016). *Analisis Kedalaman Dan Arah Kemiringan Bidang Gelincir Berdasarkan Data Geolistrik Di Jalan Tentena – Morowali, Sulawesi Tengah*. 11(1), 1–14.
- Widiyantoro, S., Gunawan, E., Muhari, A., Rawlinson, N., Mori, J., Hanifa, N. R., Susilo, S., Supendi, P., Shiddiqi, H. A., Nugraha, A. D., & Putra, H. E. (2020). Implications for megathrust earthquakes and tsunamis from seismic gaps south of Java Indonesia. In *Scientific Reports* (Vol. 10, Issue 1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72142-z>
- Zakaria, Z., & Sidarto, D. (2024). Aktivitas Tektonik di Sulawesi dan Sekitarnya Sejak Mesozoikum Hingga Kini Sebagai Akibat Interaksi Aktivitas Tektonik Lempeng Tektonik Utama di Sekitarnya. *Agustus*, 16(3), 115–127.