Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 14, No. 4, Juli 2025, hal. 346 – 352
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.14.4.346-352.2025

Open Access

Analisis Pengaruh Prisma Akresi dan Patahan *Splay* terhadap Deformasi Permukaan akibat Gempa Mentawai 2010 melalui Pemodelan Numerik 3D

Alvina Kusumadewi Kuncoro*, Wahyu Srigutomo, Umar Fauzi
Laboratorium Fisika Bumi dan Sistem Kompleks, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa No.10 Bandung, 40132, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 13 Mei 2025
Direvisi: 5 Juni 2025
Diterima: 2 Juli 2025

Kata kunci:
Gempa berpotensi tsunami
Mentawai
Patahan splay
Pemodelan elemen hingga
Prisma akresi

ABSTRAK

Segmen Mentawai Selatan terletak di zona subduksi Sumatra dan termasuk dalam struktur prisma akresi. Prisma akresi merupakan struktur tektonik yang sangat kompleks dengan adanya keberadaan berbagai patahan. Salah satu gempa besar yang pernah terjadi di segmen ini adalah gempa Mentawai Selatan pada tahun 2010 dengan magnitudo Mw~7,8. Gempa ini terjadi disertai dengan tsunami yang jauh melebihi estimasi berdasarkan magnitudonya sehingga dikategorikan sebagai *tsunami earthquake*. Studi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh keberadaan prisma akresi dan patahan di segmen Mentawai Selatan terhadap deformasi permukaan dalam bentuk 3D dengan menggunakan metode elemen hingga. Model geometri dibuat dalam 4 konfigurasi: model tanpa prisma akresi, tanpa prisma akresi dengan patahan *splay,* dengan prisma akresi tanpa patahan *splay,* dan dengan prisma akresi dan patahan *splay.* Hasil pemodelan menunjukkan bahwa model dengan prisma akresi lebih mendekati data pergeseran di stasiun GPS, terutama untuk deformasi pada arah vertikal. Patahan *splay* pada model menyebabkan kenaikan permukaan membesar hingga dua kali lipat baik pada model dengan prisma akresi maupun tanpa prisma akresi. Informasi struktur lapisan bawah permukaan yang lebih detail dapat meningkatkan pemahaman tentang area dengan potensi gempa yang diikuti dengan tsunami dan estimasi deformasi permukaan dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Keywords:
Tsunami earthquake
Mentawai
Splay fault
Finite element modeling
Accretionary wedge

Penulis Korespondensi:
Alvina Kusumadewi Kuncoro
Email: alvinakusumadewik@itb.ac.id

The Southern Mentawai Segment is located in the Sumatra Subduction Zone, which is part of the accretionary wedge. The accretionary wedge is the most complex tectonic structure in the world within its material and geometrical structure. The 2010 South Mentawai earthquake, with magnitude Mw~7.8, was accompanied by a tsunami that was larger than expected for its magnitude, classifying it as a tsunami earthquake. This study analysis the effect of the accretionary wedge and faults in the South Mentawai Segment on surface deformation using 3D finite element modeling. The geometric model was constructed in four configurations: a model without an accretionary wedge, a model without an accretionary wedge but with splay fault, a model with an accretionary wedge, and a model with both accretionary wedge and splay fault. The results indicate that the model with the accretionary wedge aligns better to the data observed at GPS stations, particularly for the vertical deformation. The presence of splay faults in the model increases the vertical deformation by up to twice, both for the model with and without the accretionary wedge. A better understanding of the subsurface structure enables more precise identification of areas with potential earthquake-triggered tsunamis and more accurate surface deformation estimation.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di antara pertemuan tiga lempeng, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Hal ini menyebabkan kondisi tektonik Indonesia sangat kompleks dan menjadi salah satu daerah dengan aktivitas seismik tertinggi di dunia. Salah satu peristiwa gempa besar yang pernah terjadi di Indonesia adalah gempa di Mentawai Selatan pada tahun 2010 dengan magnitudo Mw~ 7,8 (Singh et al., 2011). Gempa ini memicu tsunami dengan ketinggian mencapai 1,5 hingga 9 m (Hill et al., 2012) dan diklasifikasikan sebagai gempa berpotensi tsunami (*tsunami earthquake*) yang merupakan dengan kecepatan rekahan rendah dan menghasilkan tsunami yang melebihi perkiraan dari magnitudo gempanya.

Segmen Mentawai Selatan merupakan bagian dari prisma akresi zona subduksi Sumatra dimana gempa-gempa besar terjadi selama 20 tahun terakhir. Gempa besar tersebut diantaranya adalah gempa di Aceh tahun 2004, gempa di Nias tahun 2005, dan gempa Mentawai pada tahun 2007. Prisma akresi merupakan material yang tertumpuk di antara kerak samudra dan benua dan terakumulasi selama proses subduksi berlangsung (Meschede, 2015; Noda, 2016). Hasil studi dari Kuncoro et al. (2023) menunjukkan bahwa perbedaan properti fisis antara prisma akresi dan kerak benua dapat mempengaruhi deformasi permukaan secara signifikan, dengan arah horizontal sampai 40% dan menghasilkan perbedaan pada arah vertikal sampai 0,5 m. Hal ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan heterogenitas lapisan bawah permukaan tidak hanya berdasarkan kedalaman tetapi juga pada arah lateral. Selain itu, hasil interpretasi profil seismik zona subduksi Sumatra oleh (Mukti, 2018) mengidentifikasi adanya patahan-patahan di dalam prisma akresi baik yang mengarah ke samudra maupun benua. Pada peristiwa gempa Tohoku pada tahun 2011, diperkirakan rekahan gempa dapat merambat melalui patahan di kedalaman dangkal dekat palung yang disebut sebagai *splay fault* sehingga dapat menyebabkan terjadinya tsunami (Wang & Morgan, 2022).

Berdasarkan kompleksitas lapisan di segmen Mentawai Selatan berupa adanya patahan-patahan di kedalaman dangkal dalam prisma akresi, maka dilakukan pemodelan deformasi permukaan 3 dimensi (3D) untuk mengetahui pengaruh prisma akresi dan patahan terhadap deformasi permukaan akibat gempa melalui pergeseran patahan di permukaan subduksi. Perkembangan teknik komputasi, salah satunya metode elemen hingga, memungkinkan untuk melakukan simulasi dengan struktur geometri yang semakin mendekati kondisi riil sehingga kompleksitas lapisan baik perbedaan properti fisis maupun geometri patahan dapat dimodelkan dan dipelajari lebih lanjut (Tung et al., 2018).

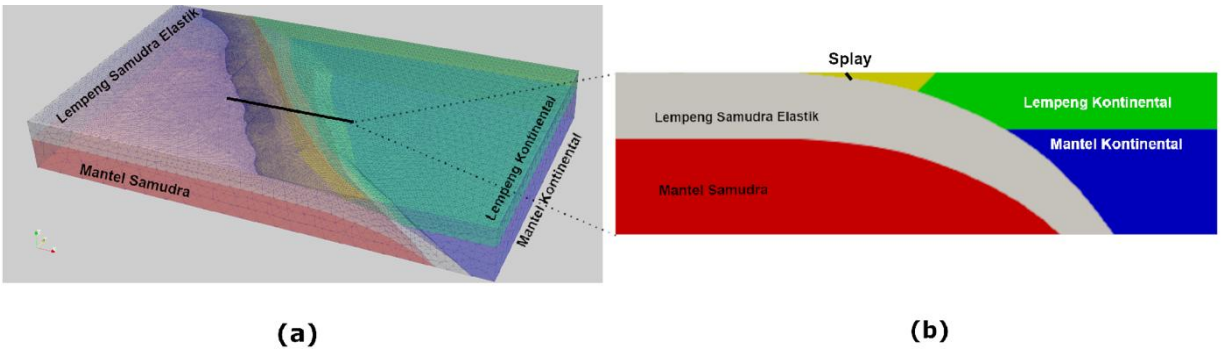
II. METODE

Pemodelan deformasi permukaan dilakukan dalam bentuk 3 dimensi (3D) menggunakan metode elemen hingga. Simulasi dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak sumber terbuka *PyLith* (Aagaard et al., 2017a, 2017b; Aagaard et al., 2013) dari *Computational Infrastructure for Geodynamics* (CIG). *PyLith* secara umum digunakan untuk melakukan simulasi deformasi akibat aktivitas patahan dalam peristiwa gempa yang mencakup variasi spasial dan temporal baik secara kuasi-statik maupun dinamik (Douilly et al., 2015; Pratama et al., 2017). Model geometri yang digunakan mengacu pada studi Kuncoro et al. (2023) dengan ukuran domain panjang 1500 km, lebar 1700 km, dan kedalaman 200 km. Untuk merepresentasikan lapisan dan geometri yang sebenarnya, model geometri tidak diasumsikan datar, melainkan memiliki topografi. Data topografi dan batimetri diperoleh dari *Global Multi-Resolution Topography* (GMRT) dengan resolusi *grid* sekitar 500 m (Ryan et al., 2009), sedangkan untuk geometri permukaan subduksi diambil dari data Slab 2.0 (Hayes et al., 2018) . Informasi sudut kemiringan permukaan subduksi mengacu pada profil seismik dari Hananto et al. (2020). Model geometri dibagi menjadi beberapa lapisan : kerak samudra, kerak benua, mantel samudra, mantel benua, prisma akresi, dan lapisan prisma akresi tipis di dekat palung (Gambar 1). Untuk mengkaji pengaruh kompleksitas lapisan dan geometri, kelima lapisan tersebut dibagi menjadi 4 model sebagai berikut :

1. Tanpa prisma akresi (*No Wedge*, NW)

Dalam model ini, tidak terdapat prisma akresi. Material prisma akresi dan material kerak benua diasumsikan sama.

2. Tanpa prisma akresi dengan patahan *splay* (*No Wedge with Splay*, NWS)
Untuk merepresentasikan patahan di dalam prisma akresi, batas antara lapisan prisma akresi dan prisma akresi tipis di dekat palung didefiniskan sebagai patahan *splay*. Sehingga, sumber slip tidak hanya pada patahan di permukaan subduksi tetapi juga pada patahan *splay*.
3. Dengan prisma akresi (*Accretionary Wedge*, AW)
Model ini mempertimbangkan material prisma akresi sebagai material yang berbeda dengan kerak benua. Oleh karena itu, nilai parameter fisis yang digunakan juga berbeda untuk prisma akresi dan untuk kerak kontinental.
4. Dengan prisma akresi dan patahan *splay* (*Accretionary Wedge with Splay*, AWS)
Model ini merupakan kombinasi antara model AW dan NWS. Prisma akresi memiliki parameter material yang berbeda dengan kerak benua dan sumber slip berada pada patahan di permukaan subduksi dan patahan *splay*.



Gambar 1. Penampang vertikal model geometri lapisan

Kemudian, model geometri 3D ini dibagi menjadi elemen-elemen kecil (*mesh*) menggunakan perangkat lunak *Coreform Cubit* 2020.2 (Coreform Cubit, 2020) dengan variasi ukuran paling kecil adalah 2,5 km di area patahan sebagai sumber gempa hingga 100 km di bagian batas luar model geometri. Parameter fisis berupa kecepatan gelombang primer Vp dan rasio Vp/Vs untuk masing-masing material diperoleh dari hasil studi Collings et al. (2012). Untuk mengamati deformasi permukaan yang dihasilkan akibat kompleksitas material dan geometri, digunakan solusi distribusi pergeseran (*slip*) dari Hill et al. (2012) untuk gempa Mentawai tahun 2010. Hasil simulasi deformasi permukaan diamati pada 11 stasiun GPS dari jaringan Sumatran GPS Array (SuGAr) (Feng et al., 2015) dan dibandingkan dengan data deformasi aktual di stasiun tersebut.

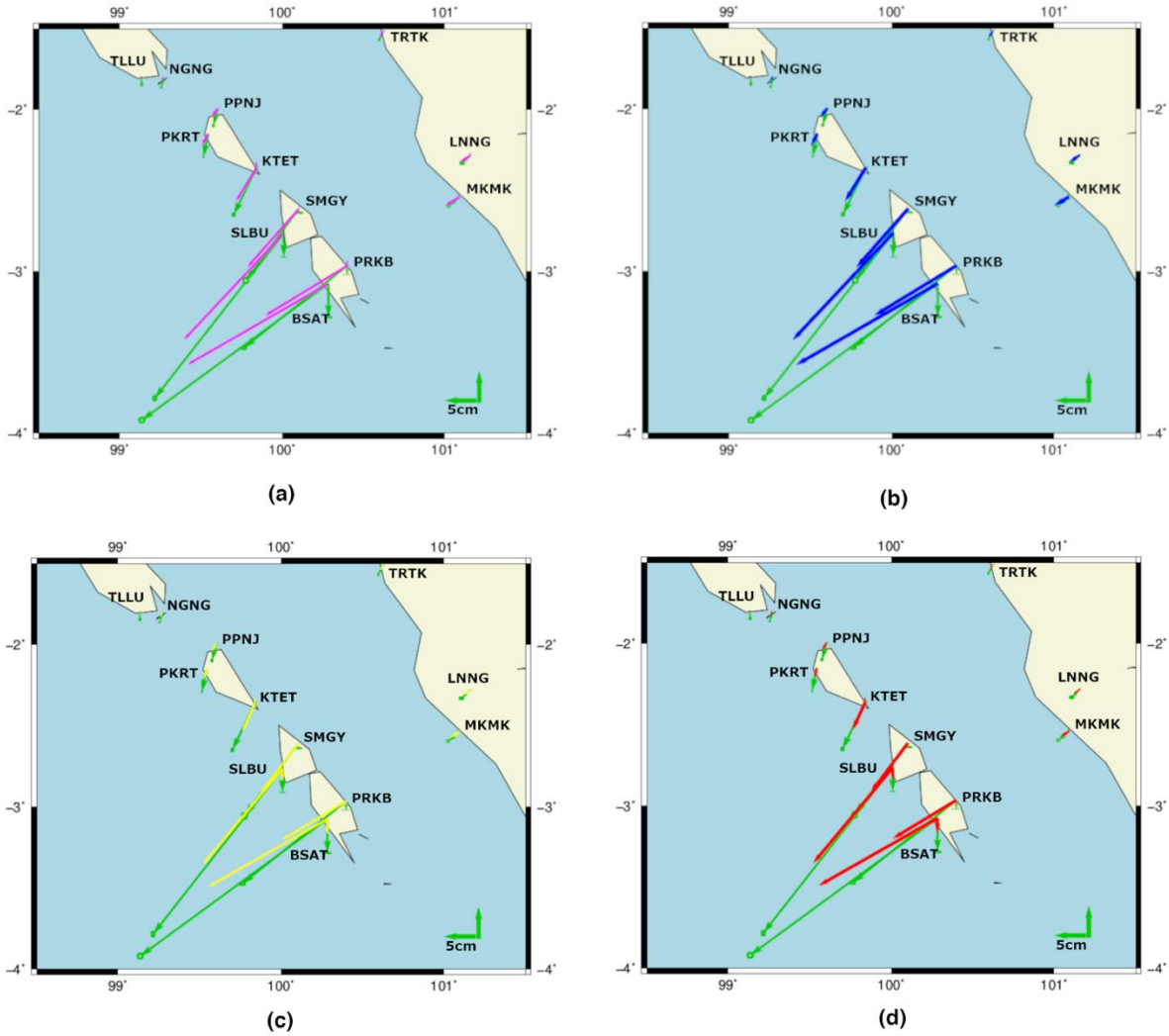
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Deformasi Permukaan Arah Horizontal

Tabel 1 Deformasi Permukaan Arah Horizontal

Stasiun	Deformasi Arah Horizontal (mm)					Deformasi Arah Horizontal (mm)				
	GPS	AWS	AW	NWS	NW	GPS	AWS	AW	NWS	NW
BSAT	-292	-185,2	-184,7	-221,1	-220,2	-214	-105,2	-104,9	-127	-126,5
KTET	-35,4	-19,52	-19,27	-32,28	-31,82	-72,8	-43,24	-42,9	-52,28	-51,72
LNNG	-12,5	-9,98	-9,888	-16,13	-15,96	-11,8	-6,761	-6,705	-10,64	-10,54
MKMK	-16,8	-13,97	-13,86	-22,65	-22,44	-13,6	-8,404	-8,343	-13,33	-13,22
PKRT	-7	-2,987	-2,883	-9,252	-9,038	-35,6	-15,81	-15,58	-18,79	-18,44
PPNJ	-7,1	-6,892	-6,812	-10,84	-10,67	-26,7	-12,11	-11,94	-14,75	-14,49
PRKB	-162	-99,36	-98,97	-128,5	-127,8	-129	-59,97	-59,77	-78	-77,63
PSKI	-5,6	-2,552	-2,512	-4,237	-4,162	-12	-3,163	-3,117	-4,546	-4,464
SLBU	-202	-123,9	-123,3	-156,9	-155,9	-258	-148,7	-148,2	-166,8	-166
SMGY	-83	-57,99	-57,6	-80,94	-80,26	-112	-76,9	-76,56	-91,74	-91,15
TRTK	-7,3	-4,568	-4,507	-7,459	-7,345	-12	-5,134	-5,074	-7,745	-7,634

Prisma akresi memiliki nilai rigiditas lebih rendah dibandingkan dengan kerak benua. Nilai rigiditas yang lebih rendah ini mengakibatkan deformasi permukaan arah horizontal pada model dengan prisma akresi lebih kecil dibandingkan dengan model tanpa prisma akresi (Gambar 2). Akan tetapi, arah vektor pergeseran horizontal pada beberapa stasiun GPS untuk model dengan prisma akresi (AW dan AWS) lebih mendekati sumber gempa dibandingkan dengan model tanpa prisma akresi (NW dan NWS). Model dengan adanya patahan *splay* (NWS dan AWS) mengakibatkan deformasi permukaan arah horizontal lebih besar baik pada model tanpa prisma akresi (NW) maupun dengan prisma akresi (AW). Hasil deformasi permukaan arah horizontal dibandingkan dengan data pergeseran pada stasiun GPS dapat diamati pada Tabel 1.



Gambar 2 Deformasi permukaan arah horizontal (coseismic offset) pada stasiun GPS. Vektor berwarna hijau merupakan data GPS. (a) Vektor ungu menunjukkan deformasi akibat model NW dan (b) vektor berwarna biru untuk model NWS. (c) Deformasi akibat model AW yang direpresentasikan dengan vektor berwarna kuning dan (d) vektor merah untuk model AWS

3.2 Deformasi Permukaan Arah Vertikal

Deformasi permukaan arah vertikal akibat model dengan prisma akresi (AW dan AWS) memiliki kecenderungan lebih mendekati pergeseran arah vertikal pada stasiun GPS (Gambar 2, Tabel 2) dibandingkan dengan model tanpa prisma akresi (NW dan NWS). Besar deformasi arah vertikal pada beberapa stasiun lebih mendekati data stasiun seperti BSAT, LNNG, PPNJ, PRKB, SLBU, SMGY, dan TRTK. Arah pergeseran vertikal akibat model dengan prisma akresi juga mendekati data pada stasiun seperti stasiun BSAT, PKRT, PPNJ, PRKB, SLBU, dan SMGY yang bernilai negatif atau permukaan mengalami penurunan. Sedangkan, hasil dengan model tanpa prisma akresi hampir seluruhnya tidak mendekati data pada stasiun tidak hanya pada besar pergeseran tetapi juga arahnya (stasiun PPNJ,

PRKB, dan SMGY). Hasil deformasi permukaan dari pemodelan ini tidak hanya menghasilkan deformasi pada titik stasiun GPS saja tetapi juga pada keseluruhan permukaan atas model geometri. Maka, dapat ditentukan nilai maksimum deformasi permukaan arah vertikal untuk masing-masing model seperti yang dapat dilihat pada tabel 2. Model dengan prisma akresi dan patahan menghasilkan deformasi permukaan arah vertikal paling besar dibandingkan dengan model-model lainnya dengan nilai maksimum mencapai 4,67 m untuk model AWS dan 4,21 m untuk model NWS. Untuk model AW dan NW, diperoleh kenaikan permukaan sebesar 2,25 m dan 1,9 m.

Tabel 2 Deformasi Permukaan Arah Vertikal

Stasiun	GPS (mm)	AWS (mm)	AW (mm)	NWS (mm)	NW (mm)
BSAT	-52,7	-23,60	-23,69	-2,57	-2,77
KTET	0,40	8,82	8,76	11,11	10,97
LNNG	1,30	3,36	3,33	5,23	5,18
MKMK	3,10	4,02	3,98	6,27	6,20
PKRT	-6,70	-0,96	-0,99	-0,19	-0,26
PPNJ	-1,90	-0,99	-1,03	0,20	0,13
PRKB	-13,90	-5,02	-5,10	8,72	8,54
PSKI	4,00	1,48	1,46	2,23	2,21
SLBU	-37,10	-18,58	-18,68	-1,43	-1,67
SMGY	-6,30	-4,82	-4,90	5,21	5,01
TRTK	2,50	2,22	2,19	3,38	3,34
Deformasi Maksimum Arah Vertikal (mm)		467	225	421	188

Berdasarkan hasil pemodelan, dapat diamati bahwa adanya prisma akresi dengan nilai rigiditas lebih rendah menghasilkan deformasi arah horizontal yang lebih kecil akan tetapi menyebakan nilai yang lebih besar pada arah vertikal. Model geometri dengan mengikutsertakan patahan splay menghasilkan deformasi arah vertikal lebih besar tanpa bergantung pada variasi material lapisan. Pergeseran permukaan arah vertikal maksimum mencapai 4-5 m dengan menggunakan solusi slip Hill untuk model NWS dan AWS. Berdasarkan hasil pemodelan mekanik, permukaan subduksi dan patahan *splay* pada area gempa Mentawai Selatan tahun 2010 memiliki nilai koefisien friksi yang rendah sehingga rekahan dapat merambat ke permukaan melalui permukaan subduksi maupun patahan *splay* (Kuncoro et al., 2015). Deformasi arah horizontal yang dihasilkan oleh Hill et al. (2012) dengan menggunakan model variasi lapisan terhadap kedalaman sudah mendekati data aktual, tetapi ketinggian tsunami yang dihasilkan berdasarkan model tersebut tidak mencapai ketinggian tsunami yang tercatat di area yang terdampak. Ketinggian maksimum tsunami saat gempa terjadi adalah 2,5 hingga 9 m (Hill et al., 2012; Hananto et al., 2020). Hananto et al. (2020) menyampaikan bahwa kenaikan ketinggian tsunami dipengaruhi oleh 60% dari kenaikan permukaan dasar laut. Maka, baik model dengan patahan *splay* baik tanpa prisma akresi maupun dengan prisma akresi dapat menghasilkan ketinggian tsunami sekitar 2-3 m, tetapi untuk mencapai ketinggian tsunami sekitar 9 m maka kenaikan permukaan dasar laut yang dibutuhkan adalah sekitar 15 m. Model yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan patahan splay untuk lapisan tanpa dan dengan prisma akresi menghasilkan kenaikan deformasi permukaan arah vertikal dua kali lebih besar dibandingkan dengan model geometri tanpa patahan splay. Oleh karena itu, diperlukan studi lanjutan untuk mengidentifikasi kemungkinan mekanisme-mekanisme lainnya yang dapat menyebabkan peningkatan ketinggian tsunami.

IV. KESIMPULAN

Hasil pemodelan deformasi permukaan 3D menunjukkan bahwa dengan mempertimbangkan adanya lapisan prisma akresi dalam model, besar deformasi permukaan arah horizontal menjadi lebih kecil. Sebaliknya, deformasi permukaan arah vertikal menjadi lebih besar. Pengaruh adanya patahan *splay* baik untuk model tanpa prisma akresi maupun dengan prisma akresi menyebabkan deformasi permukaan arah horizontal dan vertikal menjadi lebih besar. Variasi lapisan berupa prisma akresi dan

adanya struktur geometri berupa patahan memiliki peran penting terhadap besar, arah, dan pola distribusi deformasi permukaan. Oleh karena itu, kompleksitas lapisan bawah permukaan pada suatu area yang memiliki sejarah gempa atau berpotensi terjadinya gempa perlu dipertimbangkan untuk mendukung upaya mitigasi risiko bencana.

DAFTAR PUSTAKA

Aagaard, B., Knepley, M. G., & Williams, C. A. (2017a). PyLith User Manual, Version 2.2.0 [Software]. url: https://geodynamics.org/cig/software/github/pylith/v2.2.0/pylith-2.2.0_manual.pdf

Aagaard, B., Knepley, M., & Williams, C. (2017b). Pylith V2.2.0 [Software]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/ZENODO.438705

Aagaard, B. T., Knepley, M. G., & Williams, C. A. (2013). A domain decomposition approach to implementing fault slip in finite-element models of quasi-static and dynamic crustal deformation: FAULT SLIP VIA DOMAIN DECOMPOSITION. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 118(6), 3059–3079. https://doi.org/10.1002/jgrb.50217

Collings, R., Lange, D., Rietbrock, A., Tilmann, F., Natawidjaja, D., Suwargadi, B., Miller, M., & Saul, J. (2012). Structure and seismogenic properties of the Mentawai segment of the Sumatra subduction zone revealed by local earthquake traveltime tomography: MENTAWAI SEGMENT TOMOGRAPHY. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 117(B1), n/a-n/a. https://doi.org/10.1029/2011JB008469

Coreform Cubit. (2020). [Computer software] (Versi (Version 2020.2)) [Software]. Retrieved from http://coreform.com

Douilly, R., Aochi, H., Calais, E., & Freed, A. M. (2015). Three-dimensional dynamic rupture simulations across interacting faults: The M w 7.0, 2010, Haiti earthquake. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 120(2), 1108–1128. https://doi.org/10.1002/2014JB011595

Feng, L., Hill, E. M., Banerjee, P., Hermawan, I., Tsang, L. L. H., Natawidjaja, D. H., Suwargadi, B. W., & Sieh, K. (2015). A unified GPS-based earthquake catalog for the Sumatran plate boundary between 2002 and 2013: GEODETIC EARTHQUAKE CATALOG FOR SUMATRA. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 120(5), 3566–3598. https://doi.org/10.1002/2014JB011661

Hananto, N. D., Leclerc, F., Li, L., Etchebes, M., Carton, H., Tapponnier, P., Qin, Y., Avianto, P., Singh, S. C., & Wei, S. (2020). Tsunami earthquakes: Vertical pop-up expulsion at the forefront of subduction megathrust. Earth and Planetary Science Letters, 538, 116197. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116197

Hayes, G. P., Moore, G. L., Portner, D. E., Hearne, M., Flamme, H., Furtney, M., & Smoczyk, G. M. (2018). Slab2, a comprehensive subduction zone geometry model. Science, 362(6410), 58–61. https://doi.org/10.1126/science.aat4723

Hill, E. M., Borrero, J. C., Huang, Z., Qiu, Q., Banerjee, P., Natawidjaja, D. H., Elosegui, P., Fritz, H. M., Suwargadi, B. W., Pranantyo, I. R., Li, L., Macpherson, K. A., Skanavis, V., Synolakis, C. E., & Sieh, K. (2012). The 2010 Mw 7.8 Mentawai earthquake: Very shallow source of a rare tsunami earthquake determined from tsunami field survey and near-field GPS data. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 117(B6), 2012JB009159. https://doi.org/10.1029/2012JB009159

Kuncoro, A. K., Cubas, N., Singh, S. C., Etchebes, M., & Tapponnier, P. (2015). Tsunamigenic potential due to frontal rupturing in the Sumatra locked zone. Earth and Planetary Science Letters, 432, 311–322. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.10.007

Kuncoro, A. K., Srigutomo, W., & Fauzi, U. (2023). Coseismic Deformation Responses due to Geometrical Structure and Heterogeneity of the Accretionary Wedge: Study Case 2010 Mentawai Earthquake, West Sumatra, Indonesia. International Journal of Geophysics, 2023, 1–13. https://doi.org/10.1155/2023/5507264

Meschede, M. (2015). Accretionary Wedge. Dalam J. Harff, M. Meschede, S. Petersen, & J. Thiede (Ed.), Encyclopedia of Marine Geosciences (hlm. 1–5). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6644-0_101-1

Mukti, M. M. (2018). Structural complexity in the boundary of forearc basin – accretionary wedge in the northwesternmost Sunda active margin. BULLETIN OF THE MARINE GEOLOGY, 33(1). https://doi.org/10.32693/bomg.33.1.2018.536

Noda, A. (2016). Forearc basins: Types, geometries, and relationships to subduction zone dynamics. Geological Society of America Bulletin, 128(5–6), 879–895. https://doi.org/10.1130/B31345.1

Pratama, C., Ito, T., Sasajima, R., Tabei, T., Kimata, F., Gunawan, E., Ohta, Y., Yamashina, T., Ismail, N., Nurdin, I., Sugiyanto, D., Muksin, U., & Meilano, I. (2017). Transient rheology of the oceanic asthenosphere following the 2012 Indian Ocean Earthquake inferred from geodetic data. Journal of Asian Earth Sciences, 147, 50–59. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.07.049

Ryan, W. B. F., Carbotte, S. M., Coplan, J. O., O'Hara, S., Melkonian, A., Arko, R., Weissel, R. A., Ferrini, V., Goodwillie, A., Nitsche, F., Bonczkowski, J., & Zemsky, R. (2009). Global Multi-Resolution Topography synthesis: GLOBAL MULTI-RESOLUTION TOPOGRAPHY SYNTHESIS. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 10(3), n/a-n/a. https://doi.org/10.1029/2008GC002332

Singh, S. C., Hananto, N., Mukti, M., Permana, H., Djajadihardja, Y., & Harjono, H. (2011). Seismic images of the megathrust rupture during the 25th October 2010 Pagai earthquake, SW Sumatra: Frontal rupture and large tsunami: 2010 PAGAI EARTHQUAKE FRONTAL RUPTURE. Geophysical Research Letters, 38(16), n/a-n/a. https://doi.org/10.1029/2011GL048935

Tung, S., Masterlark, T., & Lo, D. S. H. (2018). Finite Element Models of Elastic Earthquake Deformation. Dalam V. Svalova (Ed.), Earthquakes—Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction. InTech. https://doi.org/10.5772/intechopen.76612

Wang, X., & Morgan, J. (2022). Effects of coseismic megasplay fault activity on earthquake hazards: Insights from discrete element simulations. Journal of Structural Geology, 155, 104533. https://doi.org/10.1016/j.jsg.2022.104533