Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Analisis Pergeseran Horisontal Akibat Gempa Bawean 22 Maret 2024 Menggunakan Pengamatan GPS Kontinu

Ahmad Adiguna Justiono [1] , Fajriyanto [2], Eko Rahmadi [3] , Romi Fadly [4]

[1,2,3,4] *Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima 11/11/2024
Direvisi 13/01/2025
Dipublish 22/05/2025

Kata kunci:
Deformasi
GPS
Gempa Bawean
Sesar Muria

ABSTRAK

Penelitian ini didasarkan pada kejadian gempa bumi dengan magnitudo 6,5 yang terjadi di Kepulauan Bawean pada 22 Maret 2024. Gempa ini berkaitan dengan aktivitas seismik pada zona sesar tua meratus di Laut Jawa, yang berpotensi menimbulkan dampak signifikan terhadap dinamika tektonik di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis deformasi yang terjadi akibat gempa tersebut dengan memanfaatkan data dari pengamatan GPS kontinu, guna memperdalam pemahaman tentang pergerakan kerak bumi di sekitar zona tersebut dan mengidentifikasi pola deformasi yang terjadi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan analisis data dari tujuh stasiun GPS yang tergabung dalam jaringan InaCORS, yaitu CLMG, CMJT, CSBY, CSID, CSMP, CPCR, dan CSTBN. Data GPS diproses menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk mengidentifikasi dan menganalisis perubahan posisi stasiun sebelum dan sesudah terjadinya gempa. Validitas pergeseran dilakukan dengan menggunakan uji T-Student dengan 1,96 adalah nilai T-Tabel. Hasil pengolahan data menunjukkan kecepatan pergeseran horisontal ke arah tenggara sebesar 15,06 mm/tahun sampai 37,47 mm/tahun. CPCR memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah Timur Laut sebesar 33,61 mm/tahun. CSMP memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah Barat Laut sebesar 52,88 mm/tahun sedangkan pergeseran horisontal setelah gempa sebesar 1,81 mm sampai dengan 30,64 mm dengan kecepatan pergeseran setelah gempa pada stasiun CLMG, CMJT, dan CTBN memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah timur laut sebesar 7,79 mm/tahun sampai 40,97 mm/tahun. CPCR, CSBY, CSID dan CSMP memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah tenggara sebesar 11,11 mm/tahun sampai 73,92 mm/tahun.

1. Pendahuluan

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang terjadi akibat pelepasan energi yang berasal dari dalam bumi dan sulit untuk diprediksi (Kinasih dkk., 2023). Kepulauan Bawean, terletak ssdi sebelah utara Jawa Tengah, merupakan salah satu wilayah yang rentan terhadap gempa bumi, yang merupakan hasil dari aktivitas seismik di wilayah tersebut (Susanta dkk., 2019). Pada tanggal 22 Maret 2024, Kepulauan Bawean dilanda gempa bumi berkekuatan magnitudo 6.5 yang menyebabkan kerusakan signifikan pada bangunan dan infrastruktur di sekitar wilayah tersebut (BMKG, 2024).

Gempa ini terkait dengan aktivitas seismik di zona Sesar Muria (laut), sebuah sesar yang dahulu dianggap sebagai sesar tidak aktif (BMKG, 2024). Sesar Muria (laut) berbeda dengan sesar aktif Muria di daratan Semenanjung Muria, yang dikatalogkan dalam Peta Sesar Aktif Indonesia 2017 dari Pusat Studi Gempa Bumi Nasional, di mana Sesar Muria (laut) bersambungan dengan Sesar West 15 dan ujung barat dayanya menghilang 30 km di lepas pantai utara Rembang (Lunt, 2019). BMKG menyebut, gempa

Bawean merupakan gempa yang merusak. Getarannya juga luas karena terasa tidak hanya di Jawa Timur, tapi juga di beberapa wilayah Jawa Tengah, DIY, bahkan Kalimantan (Widodo, 2024).

Menghadapi kondisi geologis yang kompleks seperti di Kepulauan Bawean, pemantauan deformasi kerak bumi, menjadi sangat penting untuk memahami dinamika pergeseran lempeng yang dapat memicu gempa bumi. Salah satu metode yang digunakan untuk memantau deformasi ini adalah teknologi *Global Positioning System* (GPS), yang memungkinkan pengamatan perubahan posisi secara kontinu dan akurat di wilayah yang rentan terhadap aktivitas seismik (Fadillah dkk., 2017).

2. Metodologi

2.1. Alat dan data

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari Perangkat lunak yang digunakan adalah Sistem Operasi Linux Ubuntu 20.04 LTS, Sistem Operasi Windows 10, *Software* GAMIT/GLOBK 10.7, *Matlab Versi 2021a*, *Software* Microsoft Office 2019. Perangkat keras yang digunakan adalah 1 unit Laptop TUF Gaming F15 dan 1 unit Mo.

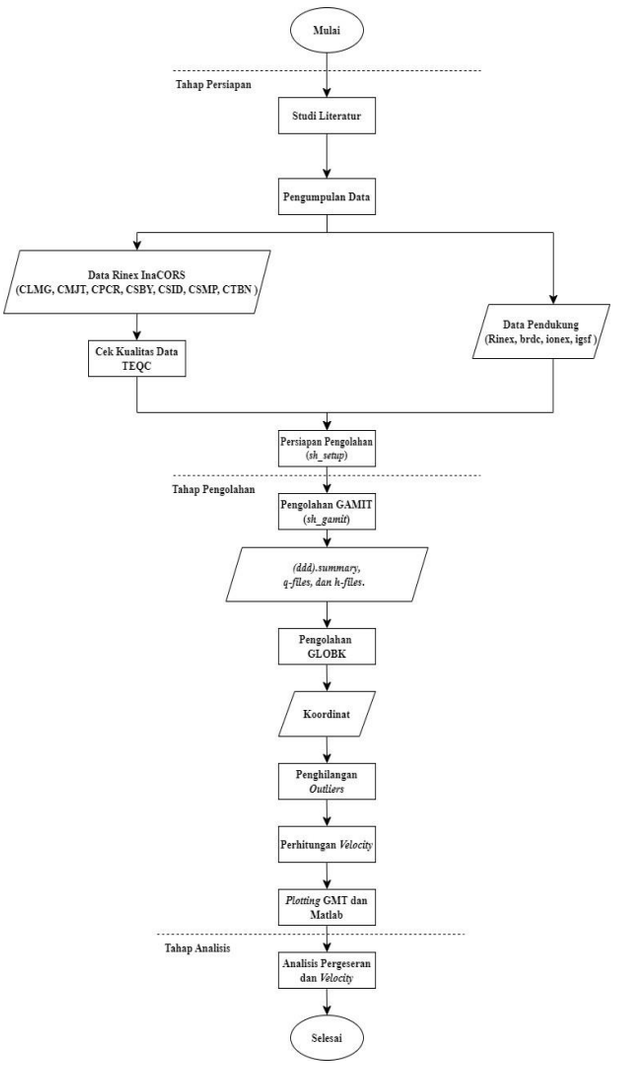
Data yang digunakan pada penelitian ini memiliki rentang waktu 2 bulan yaitu satu bulan sebelum terjadinya gempa yaitu 22 Februari 2024 dan satu bulan sesudah gempa yaitu 22 April 2024. Berikut merupakan data yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Data yang digunakan.

Data	Format	Sumber
Data CORS BIG (CLMG, CMJT, CPCR, CSBY, CSID, CSMP, CTBN)	RINEX	SRGI
Data Broadcast Ephemeris	RINEX navigasi (*.yyn)	CDDIS
Data Pemodelan Ionosfer	RINEX (*.yyi)	SOPAC
Data Orbit Final IGS, precise ephemeris (sp3)	RINEX	CDDIS
Data Stasiun Titik Ikat IGS (AIRA, BAKO, CEDU, DARW, DGAR, JOG2, KARR, KMNM, PIMO, NTUS, STK2, TOW2, dan XMIS)	RINEX	CDDIS

2.2. Prosedur percobaan

Langkah-langkah utama dalam proses penelitian diuraikan dalam diagram alir berikut ini. Beberapa tahapan, yaitu: 1) tahap persiapan, 2) tahap pengolahan, dan 3) tahap analisis.



Gambar 1. Diagram Alir

Pengendalian kualitas data, menggunakan perangkat lunak TEQC. Pada tahap pengolahan, data diproses menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Proses ini menggunakan GAMIT, pengolahan koordinat serta perhitungan kecepatan (velocity) dengan GLOBK dan pembuatan plot dengan GMT. Pengolahan data dengan GAMIT dilakukan secara otomatis menggunakan perintah "*sh_gamit*". Pengolahan GLOBK untuk mendapatkan koordinat final dilakukan dengan menggunakan data sebelumnya.

2.3. Analisis

Uji signifikansi dilakukan dengan metode uji statistik T-student, di mana nilai T_{hitung} dibandingkan dengan T. Nilai T_{hitung} diperoleh dengan membagi resultan pergeseran horisontal koordinat dengan standar deviasinya, sedangkan T diambil dari *T-student* dengan tingkat kepercayaan 95% dan derajat kebebasan (df) yang diasumsikan tak terbatas (∞). Hipotesis nol diterima jika $T_{hitung} > T$, yang menunjukkan adanya perubahan atau pergeseran secara statistik.

3. Hasil dan Pembahasan

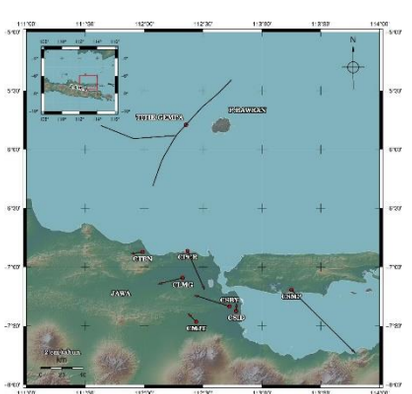
3.1. Kecepatan Pergeseran Horisontal Titik Pengamatan

Kecepatan toposentrik yang telah dihitung dan berhasil melewati uji statistik akan dipetakan. Pemetaan dilakukan menggunakan perangkat lunak GMT. Nilai Kecapatan pergeseran dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2. Kecepatan pergerakan titik pengamatan sebelum gempa tanpa memperhitungkan komponen regional

Stasiun	*Velocity* (mm/tahun)			Arah
	N	E	Horisontal	
CLMG	-17,59	-4,45	18,14	Barat Daya
CMJT	-5,97	6,16	8,58	Tenggara
CPCR	12,18	27,74	30,30	Timur Laut
CSBY	-25,21	8,02	26,45	Tenggara
CSID	0,24	6,01	6,02	Timur
CSMP	45,28	-44,83	63,72	Barat Laut
CTBN	-8,96	1,32	9,05	Tenggara

Kecepatan pergeseran sebelum gempa tanpa regional pada stasiun CMJT, CSBY dan CTBN memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah tenggara sebesar 8,58 mm/tahun sampai 26,45 mm/tahun. CPCR dan CSID memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah timur laut sebesar 6,02 mm/tahun sampai 30,30 mm/tahun. CLMG memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah barat daya sebesar 18,14 mm/tahun sedangkan CSMP memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah barat laut sebesar 63,72 mm/tahun.

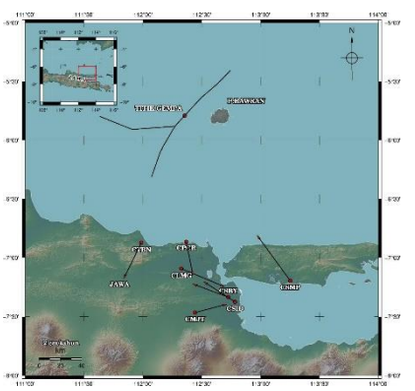


Gambar 2. *Plot* kecepatan pergeseran horisontal sebelum gempa tanpa regional

Tabel 3. Kecepatan pergerakan titik pengamatan setelah gempa tanpa memperhitungkan komponen regional

Stasiun	*Velocity* (mm/tahun)			Arah
	N	E	Horisontal	
CLMG	30,62	-12,81	33,19	Barat Laut
CMJT	22,96	6,07	23,75	Timur Laut
CPCR	4,77	-23,86	24,33	Barat Laut
CSBY	-25,17	9,43	26,88	Tenggara
CSID	-22,13	14,34	26,37	Tenggara
CSMP	-23,56	32,27	39,96	Tenggara
CTBN	12,50	-25,47	28,37	Barat Laut

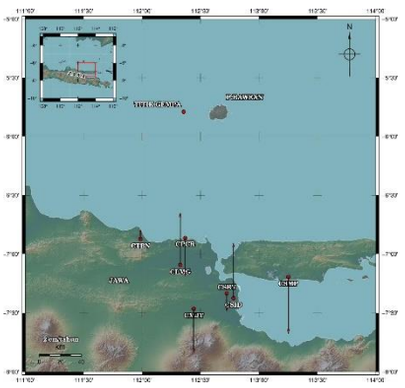
Kecepatan pergeseran setelah gempa tanpa regional pada stasiun CLMG, CPCR dan CTBN memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah barat laut sebesar 24,33 mm/tahun sampai 33,19 mm/tahun. CSBY, CSID dan CSMP memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah tenggara sebesar 26,37 mm/tahun sampai 39,96 mm/tahun. CMJT memiliki kecepatan pergeseran horisontal ke arah timur laut sebesar 23,75 mm/tahun.



Gambar 3. *Plot* kecepatan pergeseran horisontal sebelum gempa tanpa regional

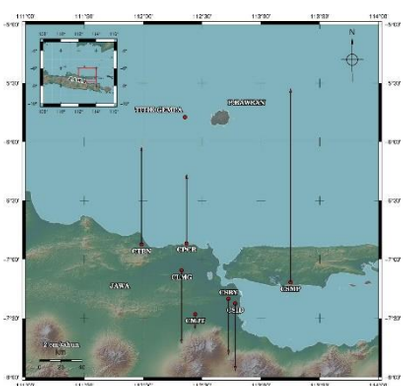
3.2. Kecepatan Pergeseran Vertikal Titik Pengamatan

Kecepatan pergeseran vertikal sebelum gempa pada stasiun CLMG, CMJT, CPCR, CSBY, CSMP dan CTBN mengalami penurunan pergeseran vertikal sedangkan CSID mengalami kenaikan pergeseran vertikal.



Gambar 4. *Plot* kecepatan pergeseran vertikal sebelum gempa

Kecepatan pergeseran vertikal setelah gempa pada stasiun CLMG, CMJT, CSBY dan CSID mengalami penurunan pergeseran vertikal sedangkan CTBN, CPCR dan CSMP mengalami kenaikan pergeseran vertikal.



Gambar 5. *Plot* kecepatan pergeseran vertikal sebelum gempa tanpa regional

3.3. Uji Statistik

Penelitian ini menggunakan uji T-Student dengan tingkat kepercayaan 95%. Mengingat jumlah data yang besar, **degree of freedom** (df) diasumsikan tak terbatas (∞), sehingga nilai T- yang digunakan adalah 1,960. Hasil uji statistik pergeseran horisontal sebelum gempa mengalami pergeseran horisontal yang tidak signifikan kecuali CSID yang mengalami pergerakan yang signifikan, ditandai dengan nilai T-hitung < 1,960. Hasil uji statistik pergeseran horisontal setelah gempa menunjukkan bahwa CLMG, CMJT, CSBY, CSID, CSMP dan CTBN mengalami pergeseran horisontal yang signifikan, ditandai dengan nilai T-hitung >1,960. CPCR mengalami pergeseran horisontal yang signifikan, ditandai dengan nilai T-hitung 1,960.

Hasil uji statistik pergeseran vertikal sebelum gempa menunjukkan bahwa semua titik pengamatan mengalami pergeseran vertikal yang tidak signifikan, ditandai dengan nilai T-hitung < 1,960. Hasil uji statistik pergeseran vertikal setelah gempa menunjukkan bahwa semua titik pengamatan mengalami pergeseran vertikal yang tidak signifikan, ditandai dengan nilai T-hitung < 1,960.

3.4. Kajian Deformasi

Kajian deformasi gempa Bawean pada 22 Maret 2024 menunjukkan adanya aktivitas sesar aktif di Laut Jawa yang mengalami reaktivasi. Gempa ini dipicu oleh pergeseran sesar dengan mekanisme geser mendatar (strike-slip). Pusat gempa berada di dekat Pulau Bawean dengan dua kejadian besar: gempa pertama berkekuatan M6,0 dan gempa susulan M6,5.

Dampak deformasi mencakup likuefaksi dan retakan tanah di beberapa wilayah, terutama di bagian barat Pulau Bawean. Fenomena likuefaksi mengakibatkan keluarnya pasir dan air ke permukaan tanah, sementara retakan tanah dengan arah E-W dan N-S mengindikasikan adanya deformasi signifikan pada lapisan kerak bumi. Bangunan yang tidak memiliki standar ketahanan gempa., adanya retakan tanah dan likuefaksi memperparah kerusakan bangunan di daerah tersebut.

Kajian lebih lanjut menunjukkan bahwa sesar di Laut Jawa, khususnya di sekitar Pulau Bawean, merupakan sesar tua yang mengalami reaktivasi. Ini menekankan pentingnya peningkatan mitigasi risiko bencana di wilayah Bawean yang sebelumnya dianggap memiliki potensi kegempaan rendah. Reaktivasi sesar tua di Laut Jawa ini menjadi pengingat bahwa potensi gempa dapat terjadi di wilayah yang sebelumnya dianggap stabil. Oleh karena itu, peningkatan kesiapsiagaan masyarakat dan penataan tata ruang yang lebih baik dengan memperhitungkan zona rawan gempa sangat diperlukan di wilayah Bawean.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini tujuh stasiun pengamatan yang digunakan yaitu CLMG, CMJT, CPCR, CSBY, CSID, dan CSMP, menunjukkan adanya perubahan posisi yang signifikan setelah gempa Bawean pada 22 Maret 2024. Data GPS yang diambil dari stasiun-stasiun tersebut mengindikasikan adanya aktivitas deformasi yang memengaruhi posisi koordinat. Hasil analisis uji t yang melebihi ambang batas 1,96 menandakan bahwa pergeseran ini secara statistik signifikan. Arah dan besar kecepatan pergeseran bervariasi di antara stasiun-stasiun ini, dengan pergeseran dominan terarah ke tenggara. Kecepatan rata-rata pergeseran berkisar antara beberapa milimeter hingga beberapa sentimeter per tahun, tergantung pada lokasi masing-masing stasiun. Pergeseran 7 stasiun titik pengamatan sebelum terjadinya gempa bawean secara statistik mengalami kecepatan pergeseran vertikal CPCR sebesar 26,95 mm ke arah dalam bumi sedangkan setelah gempa stasiun CSID sebesar 21,34 mm ke arah dalam bumi, CSMP sebesar 13,85 mm ke arah atas permukaan bumi dan CTBN sebesar 6,47 mm ke arah permukaan bumi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh Dosen dan Staff Program Studi Teknik Geodesi dan

Geomatika, Fakultas Teknik Universitas Lampung atas dukungan, fasilitas yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik, dan bantuan dalam melayani administrasi yang diperlukan.

Daftar Pustaka

Bmkg. (2024a). *Gempabumi Bawean - Jawa Timur, 22 Maret 2024*. Https://Www.Bmkg.Go.Id/Berita/?P=Gempabumi-Bawean-Jawa-Timur-22-Maret-2024dantag=Gempabumidanlang=Id.

Bmkg. (2024b). *Gempabumi Terkini*. Https://Www.Bmkg.Go.Id/Gempabumi-Terkini.Html.

Fadillah, R., Yuwono, B. D., Dan Sudarsono, B. (2017). Studi Deformasi Waduk Pendidikan Diponegoro Tahun 2016. *Jurnal Geodesi Undip*, *6*1, 238–248. Http://Www.Jurnaltunasagraria.Stpn.Ac.Id/Jta/Article/Download/114/109.

Kinasih, F. A., Miladan, N., Dan Kusumastuti, K. (2023). Kajian Risiko Bencana Gempa Bumi Akibat Aktivitas Sesar Lembang Di Kabupaten Bandung Barat. *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif*, *18*2, 357. Https://Doi.Org/10.20961/Region.V18i2.57232.

Lunt, P. (2019). *A New View Of Integrating Stratigraphic And Tectonic Analysis In South China Sea And North Borneo Basins*.

Susanta, F. F., Pratama, C., Aditya, T., Khomaini, A. F., Wijaya, H., Dan Abdillah, K. (2019). *Journal Of Geospatial Information Science And Engineering Geovisual Analytics Of Spatio-Temporal Earthquake Data In Indonesia*. *2*2, 185–194.

Widodo, A. (2024). *Belajar Dari Gempa Bawean Jatim*. Goodnewsfromindonesia. Https://Www.Goodnewsfromindonesia.Id/2024/04/07/Belajar-Dari-Gempa-Bawean-Jatim