Integrative Perspectives of Social and Science Journal (IPSSJ)
ipssj.com ippsj2024@gmail.com E-ISSN: 3064-4011

Pemodelan Geodatabase Sebaran Gempa di Pulau Jawa dengan Metode WEB Engineering

Muhammad Alfan Rizieq[1*], Tata Sutabri[2]
[1,2] Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Indonesia
*Corresponding email: alfanrizieq6@gmail.com, tata.sutabri@gmail.com

Abstrak: Pulau Jawa terletak pada zona subduksi dan dilintasi sesar aktif di daratan. Katalog gempa BMKG, di sisi lain, terbit sebagai tabel statis yang menyulitkan pembacaan pola spasial. Penelitian ini merancang geodatabase sebaran gempa Pulau Jawa dengan metode Web Engineering (formulation, planning, analysis and modeling, construction, dan testing). Sistem dibangun dengan Laravel, Leaflet.js, Turf.js, dan Chart.js, memakai data episenter, magnitudo, kedalaman, dan waktu kejadian BMKG serta batas wilayah GeoJSON. Luarannya adalah WebGIS GeoSeismic Java yang menampilkan zonasi risiko berbasis poligon kabupaten/kota, popup detail kejadian, dan filter spasial. Pengujian Black Box terhadap 22 butir skenario uji (12 fitur publik dan 10 fitur administratif) mencatat tingkat keberhasilan fungsional 100%, dan seluruh butir valid. Sistem ini mempercepat identifikasi klaster wilayah risiko seismik berbasis poligon kabupaten/kota secara real-time dan interaktif, sehingga mendukung keputusan tanggap darurat bencana yang efektif.
Kata kunci: geodatabase, gempa bumi, web engineering, WebGIS, Leaflet.js, choropleth

Abstract: *Java Island sits along a subduction zone and is traversed by active inland faults, whereas BMKG earthquake catalogs appear only as static tables that obscure spatial patterns. This study designs a geodatabase of earthquake distribution in Java using the Web Engineering method (formulation, planning, analysis and modeling, construction, and testing). The system runs on Laravel, Leaflet.js, Turf.js, and Chart.js, drawing on BMKG epicenter, magnitude, depth, and origin-time records together with GeoJSON regional boundaries. The outcome is the GeoSeismic Java WebGIS, which offers district-polygon risk zonation, event detail popups, and spatial filters. Black Box testing over 22 test scenarios (12 public and 10 administrative features) produced a 100% functional success rate, and every item was valid. The system speeds up the identification of seismic risk clusters based on district/city polygons, interactively and in real time, and thereby supports effective emergency-response decisions.*
Keywords: *geodatabase, earthquake, web engineering, WebGIS, Leaflet.js, choropleth*

PENDAHULUAN

Posisi tektonik Pulau Jawa membuatnya sangat rentan terhadap guncangan. Di selatan pulau, Lempeng Indo-Australia menunjam di bawah Lempeng Sunda melalui sistem *megathrust* (Supendi et al., 2023); di daratan, sesar aktif seperti Sesar Lembang di Jawa Barat dan Sesar Opak di Daerah Istimewa Yogyakarta menambah lapisan bahaya. Gempa intra-slab Malang pada 10 April 2021 (Mw 6,1) memperlihatkan kerumitan itu. Pusatnya berada sekitar 20 km di selatan Jawa dengan kedalaman kurang lebih 60 km, dan gempa tersebut merusak lebih dari 3.000 bangunan (Supendi et al., 2022). Relokasi hiposenter gempa untuk periode April 2009 hingga Juli 2020 juga menyingkap celah seismik (*seismic gap*) yang luas, membentang dari selatan Jawa Barat hingga tenggara Sumatra. Kawasan itu berpotensi memicu gempa *megathrust* dengan tinggi tsunami maksimum sekitar 34 m di pesisir selatan Jawa dekat Semenanjung Ujung Kulon (Supendi et al., 2023). Dengan ancaman yang berlapis seperti ini, sistem informasi geografis interaktif menjadi kebutuhan mendesak. Sistem semacam itu dapat dengan cepat menunjukkan wilayah yang berulang kali terdampak, sehingga perencanaan mitigasi dan respons darurat lebih tepat sasaran dan, pada akhirnya, kerusakan struktural serta korban jiwa dapat ditekan.

Untuk pemantauan kegempaan, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) adalah otoritas resmi yang secara konsisten menerbitkan katalog kejadian gempa di Indonesia. Data katalog itulah yang menjadi fondasi penelitian ini. Masalahnya tidak terletak pada kelengkapan atau keandalan data. Yang bermasalah adalah format penyajian data sekunder tersebut: tabel statis berisi angka lintang, bujur, magnitudo, dan kedalaman. Dari tabel semacam itu, pembaca sulit menangkap korelasi spasial antarkejadian, apalagi menghimpun dampaknya di banyak kabupaten/kota sekaligus dengan cepat. Padahal sistem informasi pada

dasarnya dirancang untuk menyediakan informasi yang relevan bagi penggunanya, termasuk sebagai landasan pengambilan keputusan (Sutabri, 2012b).

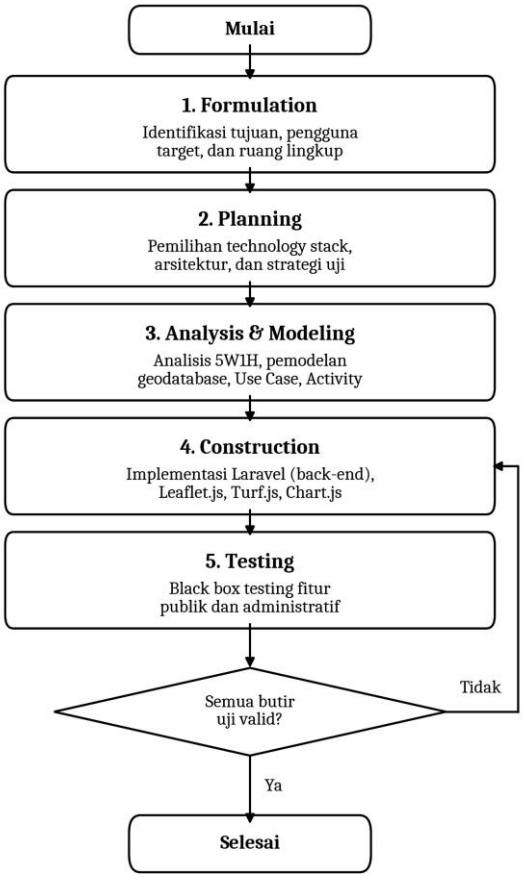
Web-based Geographic Information System (WebGIS) menawarkan jalan keluar, sebab pengguna dapat mengaksesnya lewat peramban dan berinteraksi langsung dengan peta. Beberapa kajian terdahulu sudah bergerak ke arah ini, meski dengan celah yang berlainan. Zulsfi et al. (2021) memetakan tingkat ancaman bencana melalui analisis geospasial berbasis SIG yang banyak bertumpu pada perangkat lunak desktop. GeoSeismic Java berbeda karena berbasis web murni dan tidak memerlukan instalasi lokal. Fahrizal dan Wahyu (2022) mengembangkan Sistem Informasi Geografis Analisis dan Pemantauan Gempa (SIGAP). Marjan et al. (2026) memadukan REST API berbasis aturan dengan WebGIS untuk mengotomasi diseminasi informasi gempa bumi, sedangkan Wati et al. (2026) membangun WebGIS pemetaan rawan bencana dan ketangguhan desa. Sepanjang tinjauan penulis, belum ada satu pun dari kajian itu yang menyatukan empat unsur yang menjadi kebaruan GeoSeismic Java: visualisasi tematik *choropleth* zonasi risiko berbasis poligon, perhitungan spasial sisi klien dengan Turf.js, visualisasi dokumentasi kerusakan, dan integrasi kanal filantropi tanggap darurat. Dari sisi analitik, Yusuf et al. (2025) membandingkan algoritma *clustering* BIRCH dan DBSCAN pada data gempa bumi Indonesia. Perhatian mereka terbatas pada kinerja algoritma di sisi *backend*, bukan pada cara hasilnya disajikan secara spasial kepada pengguna.

Penelitian ini memberikan tiga kontribusi. Kontribusi pada sisi data berupa skema geodatabase relasional-spasial yang mengaitkan rekaman gempa dengan poligon batas kabupaten/kota se-Pulau Jawa pada sistem referensi WGS 84 (SRID 4326). Pada sisi arsitektur, penelitian ini menawarkan WebGIS berbasis Laravel dan Leaflet.js (Rahmayuda et al., 2021) yang dilengkapi analisis spasial sisi klien dengan Turf.js dan visualisasi tematik *choropleth* zonasi risiko. Kontribusi terakhir adalah integrasi foto dokumentasi kerusakan, kanal donasi tanggap darurat, dan dasbor analitik Chart.js dalam satu antarmuka, yang diverifikasi melalui pengujian fungsional Black Box. Pengembangan mengikuti lima tahap siklus rekayasa Web Engineering: *formulation*, *planning*, *analysis and modeling*, *construction*, dan *testing*. Kelima tahap ini sepadan dengan urutan *communication*, *planning*, *modelling*, *construction*, dan *deployment* pada WebGIS berbasis Laravel dan Leaflet.js (Agustin & Nasrullah, 2026). Tujuan penelitian adalah memodelkan geodatabase sebaran gempa Pulau Jawa dan mengimplementasikannya sebagai WebGIS GeoSeismic Java, yang mempercepat identifikasi klaster wilayah risiko seismik tingkat kabupaten/kota.

METODE

Alur Penelitian Web Engineering

GeoSeismic Java dikembangkan dengan pendekatan Web Engineering, yaitu disiplin rekayasa perangkat lunak yang disesuaikan dengan karakter aplikasi web, misalnya *concurrency*, *content sensitivity*, dan *continuous evolution*. Urutan tahapnya merujuk pada pengembangan bertahap WebGIS berbasis Laravel dan Leaflet.js oleh Agustin dan Nasrullah (2026). Gambar 1 memperlihatkan kelima tahap tersebut.



Gambar 1. Diagram alir skema penelitian dengan metode Web Engineering

Tahap *formulation* merumuskan tujuan sistem, pengguna sasaran, dan ruang lingkup. *Planning* menetapkan *technology stack* (Laravel, Leaflet.js, Turf.js, Chart.js, dan SQLite), arsitektur client-server, serta strategi pengujian. Pada tahap *analysis and modeling*, penulis menganalisis kebutuhan dengan kerangka 5W1H, memodelkan geodatabase relasional, dan merancang diagram Use Case serta Activity. Tahap *construction* mencakup pengerjaan sisi server (*controller*, *model*, *migration*, *seeder*, dan *routing*) dan sisi klien (*Blade template* dan JavaScript). Tahap terakhir, *testing*, berupa pengujian fungsional Black Box. Seluruh tahap berjalan iteratif, sehingga temuan pada pengujian dapat dikembalikan untuk memperbaiki tahap sebelumnya.

Pengumpulan Data

Dua jenis data sekunder menopang penelitian ini. Katalog rekaman gempa historis BMKG menjadi sumber utama, memuat koordinat episenter (lintang dan bujur, WGS 84), magnitudo (Mw), kedalaman hiposenter (km), waktu kejadian, deskripsi lokasi, dampak kerusakan, serta jumlah korban meninggal dan luka-luka. Penulis menghimpun data itu dalam spreadsheet (Dataset_Gempa_Jawa.xlsx), lalu mengimpornya ke basis data relasional melalui *database seeder*. Sumber lainnya berupa data spasial poligon batas kabupaten dan kota se-Pulau Jawa. Data ini diunduh dari repositori GeoJSON dengan rujukan data Badan Pusat Statistik (BPS) dan dimuat di sisi klien untuk keperluan *overlay* poligon dan analisis *intersection*.

Analisis Kebutuhan Sistem (5W1H)

Kebutuhan sistem diidentifikasi dengan kerangka 5W1H (*Why, Who, What, Where, When, How*) yang lazim dalam analisis sistem informasi (Sutabri, 2012a). Unsur *why* berangkat

dari kenyataan bahwa katalog BMKG tersaji sebagai tabel statis yang menyulitkan pembacaan pola spasial, sehingga WebGIS interaktif diperlukan. Unsur *who* mencakup pengguna publik dengan hak baca saja (*read-only*) dan administrator yang mengelola data melalui modul CRUD terproteksi. Dari sisi *what*, sistem harus menyediakan titik gempa dan poligon kabupaten/kota berzonasi risiko, popup detail kejadian, dasbor empat grafik, serta antarmuka CRUD. Cakupan *where* meliputi enam provinsi di Pulau Jawa: Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, dan Jawa Timur. Untuk *when*, data bersifat historis multitahun dan dapat disaring menurut tahun dan bulan. Adapun *how*, sistem memakai arsitektur client-server dengan Laravel (PHP) di server serta Leaflet.js, Turf.js, dan Chart.js di klien, yang berkomunikasi melalui *endpoint* API analitik berformat JSON.

Arsitektur Client-Server

GeoSeismic Java memakai arsitektur client-server dengan pembagian tugas yang tegas. Klien menangani visualisasi peta, analisis spasial, dan grafik. Server (Laravel) mengelola data, autentikasi, dan penyediaan *endpoint* API. Karena dipisahkan seperti ini, logika data dan logika tampilan dapat dikembangkan sendiri-sendiri.

Skema Konseptual Geodatabase

Geodatabase dimodelkan sebagai basis data relasional yang dikaitkan dengan data spasial berformat GeoJSON. Rancangan ini sejalan dengan WebGIS kebencanaan Wati et al. (2026), yang menggambarkan entitas wilayah, zona risiko, dan pengguna melalui *Entity Relationship Diagram* (ERD). Tabel relasional earthquakes menampung atribut kejadian gempa, sementara poligon batas kabupaten/kota dimuat dari sumber GeoJSON eksternal. Operasi *spatial intersection* antara titik episenter (*point*) dan poligon wilayah (*polygon*) pada SRID 4326 (WGS 84) menghubungkan kedua sumber itu. Tabel 1 memuat struktur atribut tabel earthquakes.

Tabel 1. Skema atribut tabel geodatabase earthquakes

Kolom	Tipe Data	Keterangan
id	integer (PK, auto-increment)	Kunci primer tabel
id_gempa	string(30), unique	Kode identifikasi unik kejadian gempa (contoh: EQ-JAWA-0222)
waktu_gempa	datetime	Waktu kejadian gempa (tanggal dan jam)
latitude	decimal(10,6)	Koordinat lintang episenter (WGS 84)
longitude	decimal(10,6)	Koordinat bujur episenter (WGS 84)
kedalaman_km	integer	Kedalaman hiposenter dalam kilometer
magnitudo	decimal(4,1)	Magnitudo gempa (skala Mw/SR)
status_warna	string(20)	Indikator zonasi bahaya: MERAH, KUNING
lokasi_deskripsi	string	Deskripsi naratif lokasi dari BMKG
dampak_kerusakan	text, nullable	Rincian dampak kerusakan fisik
korban_meninggal	integer, default 0	Jumlah korban meninggal dunia
korban_luka	integer, default 0	Jumlah korban luka-luka
foto_dokumentasi	string, nullable	Path/URL foto dokumentasi (format JSON array)
open_donasi	boolean, default false	Status ketersediaan kanal donasi
link_donasi	string, nullable	URL tautan donasi kemanusiaan (Kitabisa)
target_donasi	decimal(15,2), default 0	Nominal target penggalangan donasi
donasi_terkumpul	decimal(15,2), default 0	Nominal donasi yang telah terkumpul
created_at	timestamp	Waktu pembuatan rekaman
updated_at	timestamp	Waktu pembaruan terakhir rekaman

Migration Laravel mewujudkan skema ini. Dengan cara itu, struktur tabel terdokumentasi dalam kode, mudah dipindahkan antarlingkungan, dan dapat dikelola dengan *version control*.

Modul Administratif dan Kontrol Akses

Keamanan sistem diatur dengan *Role-Based Access Control* (RBAC) yang mengenal dua peran. Pengguna publik hanya dapat melihat peta, memakai filter berjenjang (provinsi, kabupaten/kota, tahun, dan bulan), membaca dasbor grafik, dan membuka detail gempa melalui *tooltip hover* dan popup. Halaman utama dapat diakses pada rute / tanpa autentikasi. Administrator, di sisi lain, masuk melalui /admin/login dengan *session-based authentication* bawaan middleware Laravel. Setelah itu, administrator dapat menambah data gempa beserta parameter seismiknya, mengunggah foto dokumentasi kerusakan (JPEG/PNG/WebP, maksimal 2 MB), mengubah dan menghapus data, serta mengelola tautan donasi kemanusiaan pada Kitabisa.

Saat *login*, administrator mengisi surel dan kata sandi. Sistem lalu memeriksa format masukan dan mencocokkan kredensial pada tabel users. Kredensial yang valid memicu regenerasi sesi dan pengalihan ke /admin/earthquakes; kredensial yang tidak valid memunculkan pesan galat. Saat *logout*, sesi dihapus dan token CSRF dibangkitkan ulang. *Activity Diagram* autentikasi memiliki dua jalur: jalur berhasil menuju panel CRUD dan jalur gagal yang kembali ke formulir *login*. Middleware guest dipasang pada rute *login* agar pengguna yang sudah masuk tidak dapat membukanya lagi, sedangkan middleware auth melindungi semua rute administratif. Operasi CRUD mencakup penambahan data dan unggah foto (POST /admin/earthquakes), penampilan daftar sepuluh rekaman per halaman (GET /admin/earthquakes), pengubahan data (PUT /admin/earthquakes/{id}) yang disertai penghapusan foto lama bila diganti, dan penghapusan data berikut fotonya (DELETE /admin/earthquakes/{id}).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Pemodelan Geodatabase

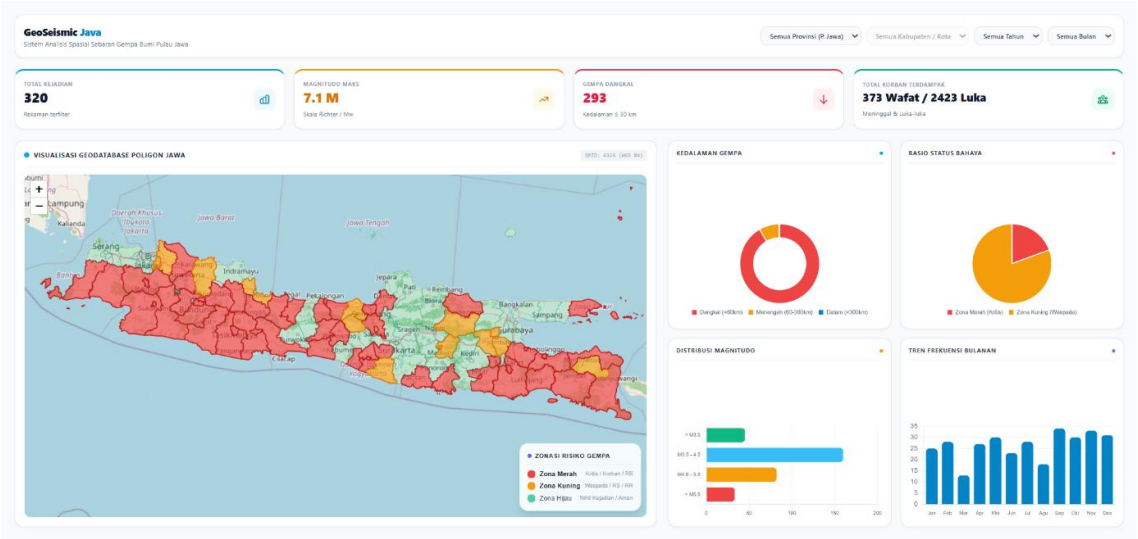
Geodatabase diwujudkan melalui *migration* Laravel yang mendefinisikan tabel earthquakes dengan Schema::create('earthquakes', ...). Pemeriksaan silang antara berkas *migration*, model Eloquent Earthquake, dan rancangan konseptual pada Tabel 1 menunjukkan kesesuaian 100% tanpa deviasi. Seluruh 19 atribut pada Tabel 1 terdefinisi dalam *migration* dengan nama dan tipe data yang identik (19 dari 19 kolom). Kolom latitude dan longitude disimpan sebagai decimal(10,6) dalam sistem referensi WGS 84 (SRID 4326), sama dengan rancangan konseptual. Relasi dengan poligon batas kabupaten/kota terbentuk melalui *spatial intersection* di sisi klien pada sistem koordinat yang sama, jadi transformasi proyeksi antara kedua sumber data tidak diperlukan. Model Eloquent menetapkan *casting* untuk enam atribut: latitude dan longitude (float), kedalaman_km (integer), magnitudo (float), waktu_gempa (datetime), dan open_donasi (boolean). Dengan *casting* itu, tipe data tetap konsisten saat pembacaan maupun penulisan tanpa konversi manual pada *controller*. Semua *integrity constraint* pun terealisasi sesuai rancangan: kunci primer *auto-increment* pada id, batasan *unique* pada id_gempa, sifat *nullable* pada atribut opsional (dampak_kerusakan, foto_dokumentasi, dan link_donasi), serta nilai bawaan nol pada korban_meninggal, korban_luka, target_donasi, dan donasi_terkumpul dan false pada open_donasi.

Kelas EarthquakeSeeder mengisi data dengan membaca Dataset_Gempa_Jawa.xlsx melalui PhpSpreadsheet. Tiap baris (kolom A hingga N) disimpan ke tabel earthquakes memakai updateOrCreate(), sehingga rekaman lama diperbarui dan rekaman baru ditambahkan tanpa duplikasi. *Seeder* ini juga mengaitkan foto dokumentasi dan tautan donasi pada kejadian tertentu, seperti Gempa Cianjur 2022 dan Gempa Malang 2021, berdasarkan kode id_gempa.

Implementasi Antarmuka WebGIS dan Dashboard Analitik

Gambar 2 memperlihatkan tampilan GeoSeismic Java. Halaman utamanya memuat empat filter berjenjang (provinsi, kabupaten/kota, tahun, dan bulan), empat kartu KPI, peta

poligon Jawa, dan empat grafik analitik. Pada konfigurasi bawaan (seluruh provinsi dan seluruh periode), sistem menampilkan 320 rekaman kejadian gempa. Magnitudo maksimumnya 7,1 Mw, dengan 293 gempa dangkal dan total korban 373 jiwa meninggal serta 2.423 orang luka-luka.



Gambar 2. Tampilan antarmuka dan dashboard analitik GeoSeismic Java

Angka 320 rekaman itu mencerminkan cakupan dataset penelitian, bukan jumlah seluruh gempa yang pernah terjadi di Pulau Jawa. Ia hanya mencakup rekaman pada Dataset_Gempa_Jawa.xlsx yang termuat dalam tabel earthquakes dan memenuhi empat batasan: (a) periode observasi 28 Januari 2010 s.d. 8 September 2026; (b) rentang magnitudo 3,0 hingga 7,1 Mw (nilai maksimum pada data); (c) rentang kedalaman hiposenter 2–643 km, dengan 293 kejadian (91,6%) tergolong dangkal (< 60 km); dan (d) cakupan geografis enam provinsi di Pulau Jawa, yakni Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, dan Jawa Timur. Batasan ini perlu dinyatakan terbuka supaya pembaca menafsirkan angka pada KPI, zonasi, dan grafik dalam konteks dataset yang dipakai.

Visualisasi peta spasial

Peta interaktif dibangun dengan Leaflet.js versi 1.9.4 yang disesuaikan untuk Pulau Jawa. Konstanta JAVA_BOUNDS menetapkan *bounding box* dengan sudut barat daya [-8,85; 105,1] dan timur laut [-5,80; 114,6]. STRICT_JAVA_BOUNDS [-10,2; 104,2] hingga [-5,0; 115,5] berfungsi sebagai batas geser maksimum, sehingga peta tidak keluar dari wilayah Jawa. Peta dasar memakai *tile server* OpenStreetMap (https://tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png) yang gratis dan tanpa API key, selaras dengan prinsip *open-source* sistem (Rahmayuda et al., 2021). Poligon batas kabupaten/kota dimuat secara asinkron dengan *fetch API*. Fungsi isWilayahJawa() kemudian menyaring fitur agar hanya wilayah Pulau Jawa yang diproses, dengan memeriksa properti provinsi (Propinsi) atau, sebagai cadangan, centroid yang dihitung dari *bounding box* fitur dengan Turf.js. Akibatnya, poligon dari pulau lain, seperti Sumatra dan Kalimantan, tidak ikut digambar.

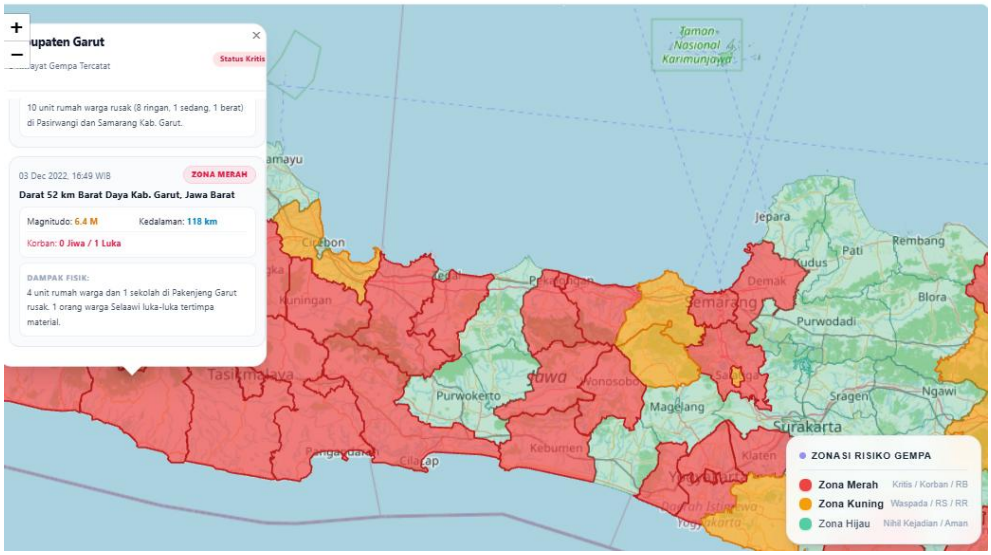
Analisis spasial sisi klien

Turf.js menjalankan seluruh analisis spasial langsung di peramban; Netek et al. (2023) menilai pustaka ini layak untuk analisis vektor di peramban. Sistem menerapkan tiga mekanisme. Dasar dari ketiganya adalah *spatial intersection*: fungsi turf.booleanPointInPolygon(point, polygon) menguji apakah titik episenter berada di dalam poligon kabupaten/kota, dan setiap titik gempa diuji terhadap seluruh poligon Pulau Jawa untuk

memperoleh relasi *point-in-polygon*. Pencocokan nama wilayah (*name matching*) melengkapinya. Nama kabupaten/kota dari properti GeoJSON (getNamaKabupaten()) dicocokkan dengan deskripsi lokasi BMKG (lokasi_deskripsi) untuk menangani episenter yang sedikit berada di luar poligon daratan tetapi terkait dengan wilayah tersebut. Mekanisme ketiga mendeteksi gempa laut melalui *buffer* pesisir khusus Banten dan Selat Sunda. Gempa yang berepisenter di laut tetapi berdampak ke pesisir dikenali dari kata kunci lokasi BMKG (bantenKeywords, misalnya 'sumur', 'bayah', 'selat sunda', dan 'ujung kulon') serta jarak *buffer* berjari-jari 130 km dari centroid kabupaten pesisir yang dihitung dengan turf.distance(). Gempa Selat Sunda dikaitkan dengan Kabupaten Pandeglang, sedangkan gempa perairan selatan Banten dengan Kabupaten Lebak.

Zonasi risiko berbasis atribut.

Visualisasi tematik *choropleth* pada poligon kabupaten/kota mengikuti tingkat keparahan gempa di tiap wilayah dan terbagi dalam tiga zona. Zona Merah (fillColor #ef4444; fillOpacity 0,68; stroke #b91c1c) menandai wilayah kritis, yaitu wilayah yang terdampak gempa berstatus MERAH menurut BMKG, mencatat korban meninggal atau luka-luka, atau terdampak gempa dangkal bermagnitudo tinggi (kedalaman ≤ 30 km dan magnitudo ≥ 5,0). Zona Kuning (fillColor #f59e0b; fillOpacity 0,65; stroke #d97706) menandai wilayah waspada, yakni wilayah terdampak gempa berstatus KUNING tanpa korban jiwa langsung. Zona Hijau (fillColor #10b981; fillOpacity 0,22; stroke transparan) menandai wilayah aman, yaitu wilayah tanpa rekaman gempa pada periode yang difilter. Legenda zonasi berada di sudut kanan bawah peta dan dibuat dengan L.control() Leaflet serta Tailwind CSS. Gambar 3 menampilkan hasil visualisasi, popup detail, dan legenda. Pesisir selatan Jawa Barat dan bagian timur Jawa Timur didominasi Zona Merah, sedangkan sebagian wilayah Jawa bagian tengah berstatus Zona Hijau. Popup pada contoh memperlihatkan kejadian di Kabupaten Garut pada 3 Desember 2022 dengan magnitudo 6,4 Mw, kedalaman 118 km, satu korban luka-luka, dan uraian dampak kerusakan fisik.



Gambar 3. Peta zonasi risiko dengan popup detail kejadian dan legenda

Fitur interaktif

Enam fitur interaktif membantu pengguna menjelajahi data spasial. Saat kursor diarahkan ke poligon, *tooltip hover* memunculkan nama wilayah, jumlah kejadian, dan petunjuk "Klik Detail", atau label "Wilayah Aman (Nihil Kejadian)" pada zona hijau; *tooltip* bermode *sticky* sehingga mengikuti gerak kursor. Klik pada poligon terdampak membuka popup terstruktur

berisi nama kabupaten dan jumlah riwayat gempa, lencana status (Kritis/Waspada), serta daftar kejadian yang dapat digulir lengkap dengan magnitudo, kedalaman, korban, dan narasi dampak yang telah dibersihkan dari metadata sumber (bersihkanDampakKerusakan()).

Kejadian dengan banyak foto menampilkan *slider* berisi tombol sebelumnya/berikutnya, transisi *fade*, dan penghitung foto; fungsi geserFoto() mengatur indeks secara melingkar sehingga foto terakhir kembali ke foto pertama. Kejadian dengan kanal donasi aktif (open_donasi: true) menampilkan tombol "Salurkan Donasi via Kitabisa" bergambar hati yang menuju halaman kampanye Kitabisa.com. Di bagian atas dasbor, empat kartu KPI menyajikan Total Kejadian Gempa, Magnitudo Maksimum (Mw), Jumlah Gempa Dangkal, dan Total Korban Terdampak (Meninggal dan Luka), dengan nilai yang menyesuaikan filter aktif melalui respons JSON *endpoint* API analitik. Fitur keenam, filter berjenjang, memiliki empat tingkat (Provinsi → Kabupaten/Kota → Tahun → Bulan) yang bekerja bersama konstanta PROVINCE_KABKOT_MAP, yang memetakan tiap provinsi ke daftar kabupaten/kotanya. Setiap perubahan filter memanggil ulang fetchAnalytics() untuk mengambil data terbaru dari server.

Analitik visual

Dasbor memuat empat grafik Chart.js yang dibuat fungsi initCharts() dengan resolusi tinggi (*high device pixel ratio*), sehingga tetap tajam pada layar berskala 125% atau 150%. *Donut chart* menampilkan kedalaman gempa dengan kategori Dangkal (< 60 km), Menengah (60–300 km), dan Dalam (> 300 km), masing-masing berwarna merah (#ef4444), kuning (#f59e0b), dan biru (#0284c7). *Pie chart* status bahaya membandingkan jumlah gempa Zona Merah (Kritis) dan Zona Kuning (Waspada). *Bar chart* horizontal memperlihatkan distribusi magnitudo dalam empat rentang (< M3,5; M3,5–4,5; M4,6–5,5; dan > M5,5) yang berwarna hijau, biru, kuning, hingga merah menurut kekuatannya. Terakhir, *bar chart* vertikal menggambarkan tren bulanan (Januari–Desember).



Gambar 4. Visualisasi grafik analitik: kedalaman, status bahaya, distribusi magnitudo, dan tren bulanan

Gambar 4 menunjukkan dominasi gempa dangkal, dan gempa berstatus kuning jauh lebih banyak daripada yang berstatus merah. Kelompok M3,5–4,5 terbanyak (sekitar 160 kejadian),

disusul M4,6–5,5 (sekitar 80 kejadian). Frekuensi bulanan berfluktuasi. Puncaknya sekitar 34 kejadian pada September, dan titik terendahnya sekitar 13 kejadian pada Maret. EarthquakeAnalyticsController menghitung data grafik di server dan mengembalikan JSON berisi objek kpi, charts, dan map_data. Distribusi magnitudo dan rasio severitas, sebaliknya, dihitung di sisi klien dari larik map_data untuk meringankan beban server.

Pengujian Fungsional (Black Box Testing)

Verifikasi fungsional memakai *Black Box testing*, yakni pemeriksaan kesesuaian masukan dan keluaran tanpa menelaah kode internal. Agustin dan Nasrullah (2026) serta Wati et al. (2026) menerapkan teknik yang sama pada pengujian WebGIS mereka. Pengujian mencakup 22 butir skenario yang terbagi secara proporsional menjadi 12 butir fitur publik dan 10 butir modul administratif/RBAC. Tabel 2 menyajikan hasil rincinya.

Tabel 2. Hasil pengujian Black Box (22 butir skenario uji)

No	Skenario Pengujian	Jumlah Butir	Hasil yang Diharapkan	Status
A. Fitur Publik (12 butir)				
1	Memuat halaman dashboard publik	1	Halaman tampil dengan peta Leaflet, 4 kartu KPI, dan 4 grafik analitik	Valid
2	Filter berjenjang provinsi, kabupaten/kota, tahun, dan bulan	4	Peta melakukan flyToBounds ke wilayah terpilih, dropdown kabupaten/kota menyesuaikan provinsi, serta data, KPI, dan grafik diperbarui sesuai filter	Valid
3	Interaksi hover dan klik poligon, termasuk zona hijau	3	Tooltip menampilkan nama wilayah dan jumlah kejadian (atau label "Wilayah Aman (Nihil Kejadian)" untuk zona hijau); popup memuat riwayat gempa, parameter seismik, korban, dan dampak kerusakan	Valid
4	Slider foto dokumentasi dan tombol donasi pada popup	2	Foto berganti dengan efek fade dan badge counter diperbarui; halaman Kitabisa.com terbuka pada tab baru	Valid
5	Responsivitas grafik analitik dan legenda zonasi	2	Seluruh grafik (donut, pie, bar magnitudo, bar bulanan) diperbarui sesuai data terfilter; legenda menampilkan tiga kategori zona	Valid
	Subtotal fitur publik	**12**		**12 Valid**
B. Modul Administratif/RBAC (10 butir)				
6	Autentikasi admin: akses halaman login, login valid, login gagal, proteksi rute, dan logout	5	Login valid mengarahkan ke /admin/earthquakes dengan sesi diregenerasi; login gagal menampilkan pesan kesalahan; akses tanpa sesi diarahkan ke /admin/login; logout menginvalidasi sesi dan meregenerasi token CSRF	Valid
7	Tambah data gempa (Create)	1	Data tersimpan ke basis data beserta foto, lalu diarahkan ke daftar dengan pesan sukses	Valid
8	Lihat daftar data gempa (Read)	1	Tabel paginasi menampilkan 10 rekaman per halaman dengan kolom waktu, wilayah, magnitudo, kedalaman, koordinat, dan korban	Valid
9	Ubah data gempa (Update)	1	Data diperbarui, foto lama dihapus jika diganti, dan pesan sukses ditampilkan	Valid
10	Hapus data gempa (Delete)	1	Data dihapus dari basis data beserta file foto terkait, disertai pesan sukses	Valid
11	Validasi input formulir	1	Pesan validasi kontekstual ditampilkan untuk setiap field yang tidak memenuhi aturan	Valid
	Subtotal modul administratif/RBAC	**10**		**10 Valid**
	Total keseluruhan	**22**	**Keberhasilan fungsional 22/22 = 100%**	**22 Valid**

Jumlah 22 butir uji dapat ditelusuri lewat rekapitulasi berikut. Kelompok fitur publik terdiri atas lima skenario dengan 1 + 4 + 3 + 2 + 2 = 12 butir. Modul administratif/RBAC terdiri atas enam skenario dengan 5 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 10 butir, sehingga totalnya 12 + 10 = 22 butir. Seluruh 22 butir berstatus Valid, atau keberhasilan fungsional 22/22 = 100%. Pembagian ini juga sejajar dengan dua peran pada analisis kebutuhan 5W1H: fitur publik menguji pengguna *read-only*, sedangkan modul administratif menguji autentikasi, proteksi rute, operasi CRUD, dan validasi masukan bagi administrator. Sistem karenanya berfungsi sesuai kebutuhan yang ditetapkan pada tahap analisis.

Pembahasan

Hasil implementasi memperlihatkan bahwa geodatabase relasional yang dipadukan dengan metode Web Engineering mampu mengubah katalog gempa BMKG, yang semula berupa tabel statis, menjadi visualisasi spasial interaktif. Bagian berikut menempatkan temuan itu di samping kajian terdahulu.

Zulsfi et al. (2021) memetakan tingkat ancaman bencana lewat analisis geospasial berbasis SIG yang lebih banyak bergantung pada perangkat lunak desktop. GeoSeismic Java berbasis web, sehingga bisa dipakai tanpa instalasi khusus, dan administrator dapat memperbarui datanya melalui antarmuka CRUD. Wati et al. (2026) membangun WebGIS kebencanaan dengan basis data relasional dan GeoJSON, tetapi analisis spasial lanjutannya baru direncanakan untuk pengembangan berikutnya. Pada GeoSeismic Java, analisis spasial sisi klien sudah beroperasi. SIGAP karya Fahrizal dan Wahyu (2022) berfokus pada pemantauan gempa; GeoSeismic Java melengkapinya dengan zonasi risiko *choropleth*, *slider* foto kerusakan, dan kanal donasi, sehingga turut mendukung respons bencana. Marjan et al. (2026) menekankan otomasi diseminasi informasi gempa melalui REST API berbasis aturan. Arah ini relevan dengan saran pengembangan penelitian ini, sebab penyajian spasial pada GeoSeismic Java masih menanti pengisian data otomatis. Yusuf et al. (2025), sementara itu, menguji algoritma BIRCH dan DBSCAN pada sisi analitik, dan keluaran algoritma semacam itu berpotensi diintegrasikan ke modul visual GeoSeismic Java pada tahap lanjut.

Dari segi metode dan teknologi, penelitian ini sejalan dengan Agustin dan Nasrullah (2026), yang membuktikan kelayakan pengembangan WebGIS bertahap berbasis Laravel dan Leaflet.js, dan dengan Rahmayuda et al. (2021), yang memanfaatkan Leaflet JavaScript sebagai platform SIG berbasis *open-source*. Netek et al. (2023) menilai pemrosesan geospasial di peramban layak bagi aplikasi WebGIS berbasis proses, dan pilihan Turf.js pada GeoSeismic Java mengikuti pendekatan itu. Dalam konteks seismotektonik, dominasi Zona Merah di pesisir selatan Jawa Barat dan bagian timur Jawa Timur selaras secara kualitatif dengan kondisi yang dilaporkan Supendi et al. (2022, 2023): potensi *megathrust* di selatan Jawa Barat dan gempa *intra-slab* Malang 2021. Kesesuaian ini bersifat deskriptif, bukan validasi kausal, karena zonasi sistem diturunkan dari atribut dampak pada dataset.

Sistem ini unggul pada tiga aspek. *Technology stack*-nya sepenuhnya *open-source* dan bebas API berbayar: peta dasar OpenStreetMap, analisis spasial Turf.js, dan grafik Chart.js dapat dipakai tanpa biaya lisensi. REST API analitik (/api/analytics) bersifat modular karena memisahkan perhitungan data di server (Laravel) dari penyajian di klien (JavaScript). Pemrosesan di sisi klien, pada gilirannya, menjaga responsivitas filter. Laravel juga menyediakan fitur keamanan bawaan berupa *session management*, *CSRF protection*, dan *input validation*. Istilah *real-time* pada kontribusi sistem ini merujuk pada pembaruan peta, zonasi, KPI, dan grafik seketika setiap kali pengguna mengubah filter, bukan pada pengambilan data langsung dari sumber BMKG.

Penelitian ini memiliki tiga keterbatasan. Pencocokan nama wilayah bergantung pada *parsing* teks lokasi_deskripsi BMKG, sehingga hasilnya dapat menjadi tidak konsisten bila format penulisan berubah. *Spatial intersection* dan *buffer* dihitung seluruhnya di peramban

dengan Turf.js; beban *rendering* pada perangkat berspesifikasi rendah dapat meningkat seiring kompleksitas GeoJSON dan pertambahan jumlah rekaman. Data pun masih dimasukkan secara manual melalui panel administrator atau *seeder*, sehingga integrasi *pipeline* data *real-time* dan PostGIS diperlukan di masa mendatang. Pengujian *Black Box* hanya memverifikasi aspek fungsional, dan kinerja serta kebergunaan (*usability*) belum diukur.

SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan empat temuan terukur. Geodatabase relasional-spasial pada WGS 84 (SRID 4326) berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan kesesuaian 100% antara rancangan konseptual dan *migration*/model Eloquent: 19 dari 19 kolom, enam atribut ber-*casting*, dan seluruh *integrity constraint* terealisasi. Geodatabase ini memuat parameter seismik utama, dampak, korban, foto dokumentasi, dan tautan donasi. Metode Web Engineering lima tahap (*formulation*, *planning*, *analysis and modeling*, *construction*, *testing*) terbukti sesuai sebagai kerangka pengembangan WebGIS GeoSeismic Java, dengan keluaran yang jelas pada setiap tahap.

Pada dataset 320 rekaman di enam provinsi Pulau Jawa, zonasi *choropleth* tiga kelas (Merah, Kuning, Hijau) yang ditopang analisis spasial Turf.js, filter berjenjang, dan empat grafik Chart.js memudahkan identifikasi klaster wilayah risiko seismik tingkat kabupaten/kota. Pengujian Black Box terhadap 22 butir skenario (12 fitur publik dan 10 fitur administratif) menghasilkan 22 butir Valid, atau keberhasilan fungsional 100%.

Pengembangan lanjutan dapat bergerak ke beberapa arah. Penjadwalan *web scraping* atau penggunaan *websocket* dapat menarik data gempa terbaru dari portal BMKG secara *real-time*, sehingga input manual berkurang. PostGIS pada PostgreSQL dapat memindahkan *spatial intersection* dan *buffer* dari peramban ke server agar kinerja tetap baik pada data yang lebih besar. Modul analitik lanjutan dapat menambahkan peta panas (*heatmap*) kepadatan, kluster spasial, dan model prediktif berbasis *machine learning*. Apabila sistem digunakan lebih luas, kajian risiko teknologi informasi dengan kerangka seperti COBIT dan ISO (Sutabri et al., 2025) layak dilakukan. Terakhir, pengujian nonfungsional perlu mengukur kinerja pada perangkat berspesifikasi rendah dan mengevaluasi kebergunaan bersama pengguna sasaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Institut Teknologi Indonesia atas dukungan fasilitas, kepada dosen pembimbing atas arahannya, dan kepada BMKG atas data katalog gempa. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agustin, Y. H., & Nasrullah, M. N. N. (2026). Rancang bangun visualisasi SIG berbasis web untuk pemetaan kondisi ruas jalan. *Jurnal Algoritma, 23*(1), 1226–1234. https://doi.org/10.33364/algoritma/v.23-1.2797

Fahrizal, M. A., & Wahyu W, A. P. (2022). Sistem informasi geografis analisis dan pemantauan gempa (SIGAP). *JOINT (Journal of Information Technology), 4*(1), 31–34.

Marjan, I. J., Kembuan, D. J. S., Ratumboba, F. J., Mellolo, O., & Ponggawa, V. V. (2026). Integrasi REST API rule-based dan WebGIS untuk otomasi diseminasi gempabumi. *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi, 9*(2), 502–512.

Netek, R., Pohankova, T., Bittner, O., & Urban, D. (2023). Geospatial analysis in web browsers—Comparison study on WebGIS process-based applications. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 12*(9), Article 374. https://doi.org/10.3390/ijgi12090374

Rahmayuda, S., Suhery, C., & Ilhamsyah. (2021). Pemanfaatan Leaflet Javascript sebagai platform pengembangan sistem informasi geografis aset pemerintah. *Cybernetics, 5*(1), 26–37.

Supendi, P., Rawlinson, N., Prayitno, B. S., Widiyantoro, S., Simanjuntak, A., Palgunadi, K. H., Kurniawan, A., Shiddiqi, H. A., & Nugraha, A. D. (2023). On the potential for megathrust earthquakes and tsunamis off the southern coast of West Java and southeast Sumatra, Indonesia. *Natural Hazards, 116*(1), 1315–1328. https://doi.org/10.1007/s11069-022-05696-y

Supendi, P., Widiyantoro, S., Rawlinson, N., Cummins, P. R., Palgunadi, K. H., Kurniawan, A., & Nugraha, A. D. (2022). Analysis of the April 10, 2021 (Mw 6.1) destructive intra-slab earthquake, East Java, Indonesia. *Physics of the Earth and Planetary Interiors, 326*, Article 106866.

Sutabri, T. (2012a). *Analisis sistem informasi*. Penerbit ANDI.

Sutabri, T. (2012b). *Konsep sistem informasi*. Penerbit ANDI.

Sutabri, T., et al. (2025). Information technology risk management analysis using COBIT and ISO at Jumputan industry. *International Journal on Informatics Visualization*.

Wati, V., Iswanto, M. E., & Yusuf, A. M. (2026). Rancang bangun WebGIS pemetaan rawan bencana dan ketangguhan desa di Indramayu. *Jurnal Sistem Informasi TGD, 5*(1), 106–115.

Yusuf, M., Anam, A., & Raihan, M. R. (2025). Penerapan algoritma clustering BIRCH dan DBSCAN dalam analisis gempa bumi di Indonesia. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronik (JIRE), 8*(2), 337–340. https://doi.org/10.36595/jire.v8i2.1705

Zulsfi, A. A., Simanjuntak, N. B. P., Sari, V. A., & Rahmi, F. (2021). Penerapan analisis geospasial berbasis sistem informasi geografis untuk pemetaan tingkat ancaman bencana. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing (JGRS), 2*(2), 82–91.