

BAB III

PELAKSANAAN KERJA MAGANG

3.1 Tugas yang Dilakukan

Fokus utama yang dilakukan dalam proyek ini adalah analisis pola pada data gempa bumi yang diberikan oleh pihak GMLS. Analisis ini bertujuan untuk menggali informasi pola seismik yang dapat membantu mendukung sistem mitigasi bencana di wilayah Lebak Selatan. Seluruh proses analisis dilakukan berdasarkan parameter yang tersedia dalam dataset, tanpa menggunakan model prediktif atau metode komputasi kompleks, melainkan dengan pendekatan visualisasi berbasis kategori dan waktu.

Secara lebih rinci, tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan pembagian kategori untuk parameter kedalaman, magnitudo, serta jarak episenter gempa bumi ke Desa Panggarangan, berdasarkan referensi atau ketentuan yang relevan.
- b. Melakukan analisis jumlah gempa bumi berdasarkan kategori kedalaman, magnitudo, dan jarak yang telah ditentukan, kemudian divisualisasikan dalam bentuk diagram batang 2-dimensi untuk mempermudah interpretasi pola jumlah kejadian gempa bumi.
- c. Melakukan analisis pola gempa bumi berdasarkan waktu kejadian, menggunakan diagram sebar 2-dimensi dan 3-dimensi, di mana setiap titik mewakili satu kejadian gempa bumi dan memberikan informasi tambahan terkait parameter seperti magnitudo, kedalaman, atau jarak.
- d. Melakukan analisis pola lokasi gempa bumi berdasarkan distribusi per tahun untuk mengamati kecenderungan pengumpulan kejadian gempa bumi, serta mengidentifikasi kemungkinan keterkaitan pola tersebut dengan aktivitas pergerakan lempeng tektonik di wilayah sekitar.
- e. Melakukan ekspor seluruh hasil visualisasi ke dalam format HTML agar dapat diimplementasikan ke dalam website resmi GMLS, yaitu <https://gmls.org>.

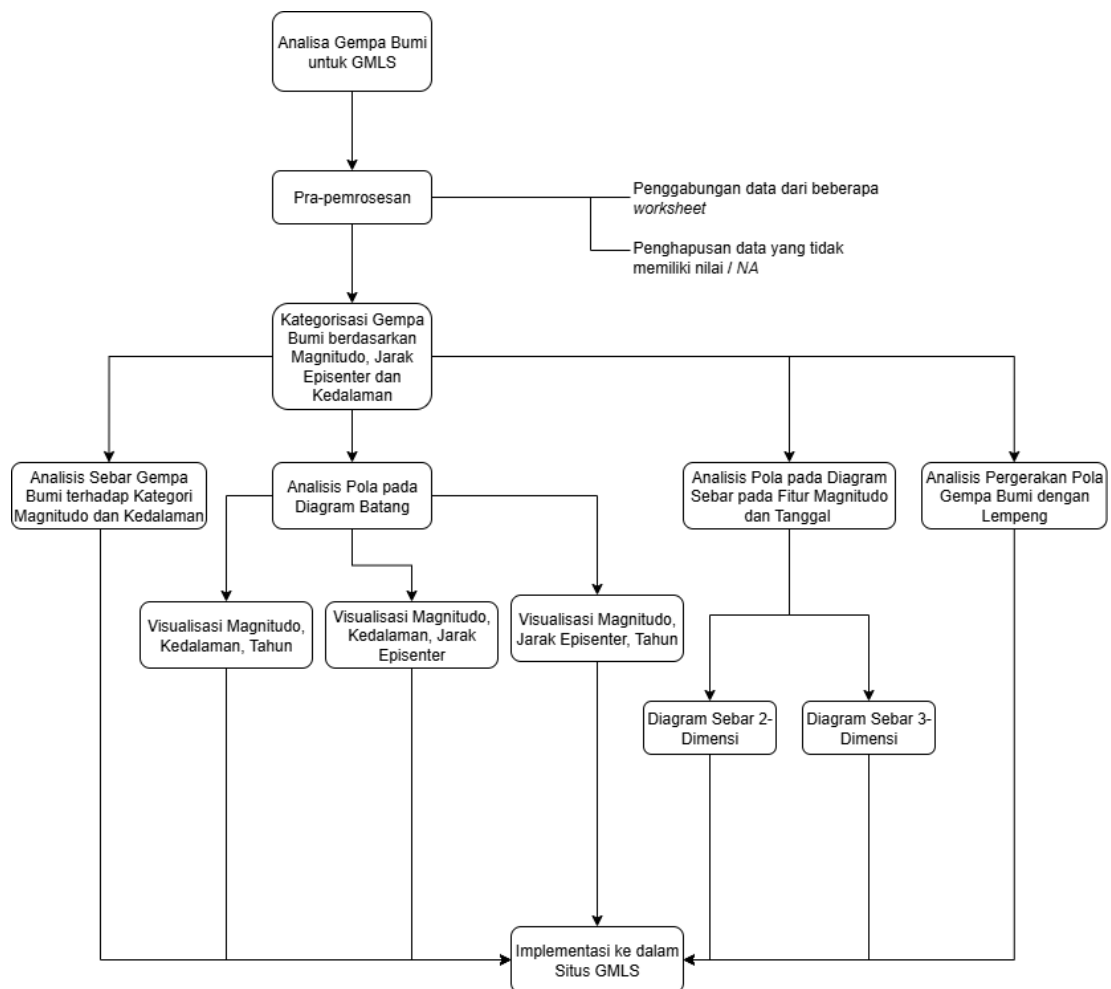
3.2 Uraian Pelaksanaan Proyek

Tahapan awal pelaksanaan proyek ini dimulai dengan pengambilan dataset gempa bumi yang diberikan oleh pihak GMLS dalam format file XLS. Dataset tersebut memuat informasi penting seperti waktu kejadian, magnitudo, kedalaman, serta koordinat episenter gempa bumi. Data tersebut kemudian diproses untuk keperluan analisis lebih lanjut.

Langkah berikutnya adalah melakukan pengkategorian terhadap beberapa parameter utama, yaitu kedalaman gempa, magnitudo, serta jarak episenter gempa bumi terhadap Desa Panggarangan. Proses pengkategorian ini dilakukan berdasarkan referensi yang telah ditentukan, sehingga setiap kejadian gempa bumi dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok-kelompok tertentu sesuai karakteristiknya. Setelah proses kategorisasi selesai, dilakukan visualisasi data dalam bentuk 2-dimensi maupun 3-dimensi untuk membantu mengidentifikasi pola pada masing-masing parameter tersebut.

Selain itu, dilakukan juga visualisasi untuk menganalisis pola lokasi gempa bumi berdasarkan distribusi per tahun, dengan mempertimbangkan faktor pergerakan lempeng tektonik. Pada tahap ini, digunakan data tambahan dari sumber eksternal berasal dari GitHub [4] untuk melengkapi informasi terkait struktur dan dinamika lempeng di wilayah Indonesia, khususnya sekitar Lebak Selatan. Seluruh proses pengolahan dan visualisasi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python. Hasil akhir dari visualisasi disimpan dalam format HTML agar dapat diimplementasikan ke dalam website resmi milik GMLS, yaitu <https://gmls.org>.

Proses implementasi dilakukan menggunakan WordPress dengan cara membuat halaman baru untuk analisa gempa bumi ini dengan nama Earthquake Analysis, di mana isi konten dari halaman tersebut akan mengandung semua opsi untuk melihat hasil visualisasi analisa.



Gambar 3.1, Flowchart Proses Pelaksanaan Analisis Pola Gempa Bumi

3.3 Proses Pelaksanaan Proyek

A. Pra-pemrosesan

Proses pelaksanaan analisis gempa bumi pada proyek ini diawali dengan melakukan ekstraksi data dari dataset yang diberikan oleh pihak GMLS. Dataset tersebut tersedia dalam format file XLS dan memuat beberapa fitur penting, yaitu tanggal kejadian, koordinat lintang (latitude) dan bujur (longitude) episenter, kedalaman gempa bumi (depth), magnitudo (mag), serta deskripsi wilayah atau lokasi kejadian (region). Seluruh data ini menjadi dasar utama dalam proses analisis pola yang dilakukan. Dalam proyek analisis ini, lokasi kejadian deskripsi (region) tidak akan dilakukan sehingga fitur tersebut di-drop.

Tahapan berikutnya adalah pre-processing data untuk memastikan bahwa seluruh informasi yang digunakan dalam analisis telah bersih dan valid. Pada tahap

ini, dilakukan pengecekan terhadap seluruh baris data untuk mendeteksi adanya nilai kosong (NA) pada kolom mana pun. Seluruh data yang memiliki nilai kosong dihilangkan dari dataset. Dari total 1835 data awal, hasil akhir menunjukkan bahwa jumlah data tetap sebanyak 1835, yang berarti tidak terdapat data yang kosong atau perlu dihapuskan. Tabel 3.2 memperlihatkan struktur dataset setelah dilakukan pra-pemrosesan.

Tabel 3.2. Struktur Dataset Informasi Gempa Bumi April 2021 - April 2025

Date	Lat	Lng	Depth	Mag	Region
01/04/2021	-6,46	104,89	10	3,5	Sunda Strait, Indonesia
01/04/2021	-7,75	106,39	3	2,9	Java, Indonesia
07/04/2021	-7,30	104,88	10	3,6	Southwest of Sumatra, Indonesia
...	...	...	...	...	...
30/04/2025	-8,36	106,02	10	2,9	South of Java, Indonesia

B. Kategorisasi Fitur Magnitudo, Kedalaman serta Jarak Desa Panggarangan ke Gempa Bumi

Setelah proses pembersihan data selesai, dilakukan tahapan kategorisasi terhadap tiga parameter utama, yaitu magnitudo gempa bumi, kedalaman gempa bumi, serta jarak episenter ke Desa Panggarangan. Titik referensi lokasi Desa Panggarangan direpresentasikan menggunakan koordinat yang diambil dari titik lokasi GMLS, yaitu berdasarkan Google Maps, Command Center GMLS berada pada lintang -6.910938335139458, dan bujur 106.21900678001691 [5]. Perhitungan jarak antara episenter gempa bumi dan Desa Panggarangan dilakukan dengan menggunakan metode haversine, karena metode ini lebih akurat untuk menghitung jarak antar titik koordinat di permukaan bumi dibandingkan dengan metode Euclidean [6]. Hasil perhitungan jarak berada dalam satuan kilometer (km).

Selanjutnya, hasil perhitungan jarak dikategorikan berdasarkan klasifikasi tertentu yang mengacu pada pertimbangan hubungan jarak terhadap penurunan intensitas gempa [7]. Neumann (1954, p. 27) menyatakan bahwa setiap peningkatan jarak sejauh 100 mil (setara $\pm 160,9$ km) akan mengurangi intensitas gempa sebesar empat pertiga tingkat intensitas di sekitar area episenter. Berdasarkan prinsip tersebut, dalam analisis ini jarak dibagi menjadi empat kategori, yaitu <80 km, 80–160 km, 160–240 km, dan >240 km. Pembagian ini dilakukan dengan asumsi bahwa setiap kenaikan jarak 80 km berpotensi menurunkan intensitas gempa sekitar

setengah dari penurunan yang dijelaskan oleh Neumann, sehingga kategori jarak ini dapat merepresentasikan perbedaan tingkat risiko dampak gempa bumi terhadap wilayah Panggarangan secara lebih terukur.

Demikian pula, proses kategorisasi magnitudo dimana menurut Fowler, gempa bumi dapat dikategorikan menjadi 7 kategori berdasarkan magnitudo [8], yaitu sebagai berikut:

- a. Ultra Mikro: Gempa bumi bermagnitudo di bawah 1 skala Richter.
- b. Mikro: Gempa bumi bermagnitudo di antara 1 sampai 2 skala Richter.
- c. Kecil: Gempa bumi bermagnitudo di antara 3 sampai 4 skala Richter.
- d. Sedang: Gempa bumi bermagnitudo di antara 4 sampai 5 skala Richter.
- e. Merusak: Gempa bumi bermagnitudo di antara 5 sampai 6 skala Richter.
- f. Besar: Gempa bumi bermagnitudo di antara 6 sampai 8 skala Richter.
- g. Sangat Besar: Gempa bumi bermagnitudo melebihi skala 8 Richter.

Sedangkan untuk kategorisasi kedalaman gempa bumi, gempa bumi dapat dikategorikan menjadi tiga jenis berdasarkan letak hiposentrumnya [8], [9]. Kategori dari kedalaman gempa bumi adalah sebagai berikut:

- a. Dangkal: Letak hiposentrum gempa bumi yang kurang dari 70 km.
- b. Menengah: Letak hiposentrum gempa bumi berada di antara 70 – 300 km.
- c. Dalam: Letak hiposentrum gempa bumi yang melebihi 300 km.

Dari hasil kategorisasi masing-masing fitur, terlihat bahwa pada kategorisasi fitur Magnitudo, tidak ada data gempa bumi yang memiliki kategori: Ultra Mikro dan Sangat Besar, sehingga kedua kategori tersebut tidak dimasukkan ke dalam Analisis.

C. Implementasi *Python* sebagai Alat Analisis Data Gempa Bumi

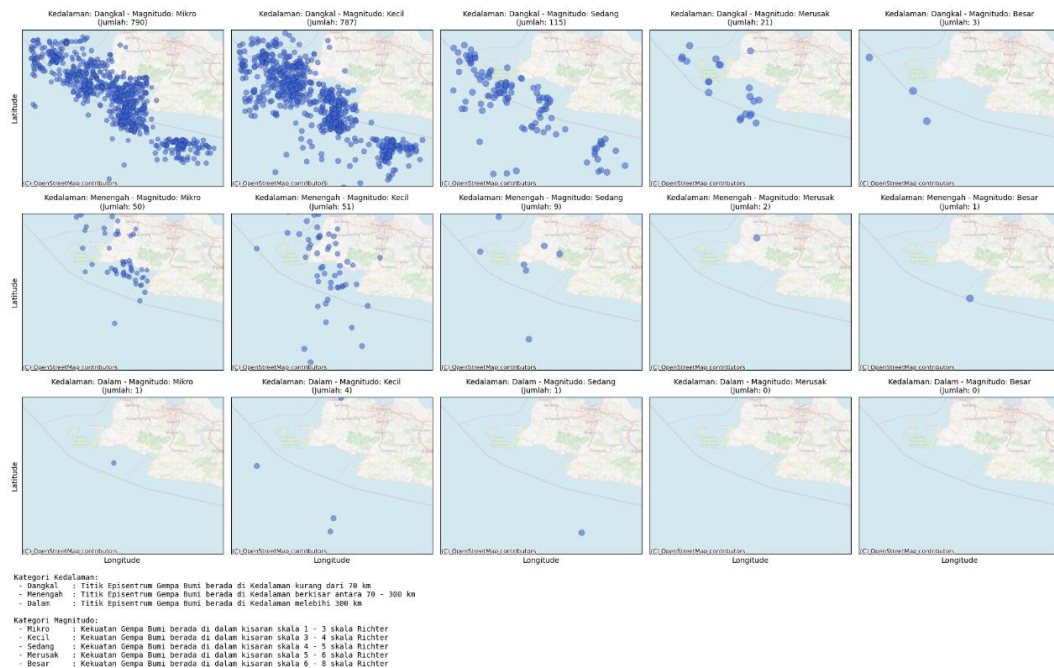
Dalam proyek analisis ini, *Python* digunakan sebagai alat utama untuk mengolah dan menganalisis data gempa bumi yang diperoleh dari pihak Gugus Mitigasi Lebak Selatan (GMLS). *Python* dipilih karena memiliki ekosistem pustaka yang lengkap, fleksibel, serta didukung komunitas yang luas, sehingga memudahkan proses eksplorasi dan visualisasi data. Beberapa pustaka yang digunakan antara lain *Pandas* untuk pengolahan dan manipulasi data, *Matplotlib* dan *Seaborn* untuk visualisasi pola dan distribusi gempa, serta *Geopandas* dan *Folium* untuk kebutuhan pemetaan berbasis spasial. Selain itu, *Python* juga digunakan untuk proses pengkategorian data berdasarkan magnitudo, kedalaman, serta jarak episentrum terhadap titik GMLS, sesuai referensi yang telah ditentukan.

Seluruh proses analisis dilakukan secara sistematis menggunakan *Python*, mulai dari pembersihan data, kategorisasi data, hingga pembuatan visualisasi yang dapat membantu GMLS dalam memahami karakteristik gempa bumi di wilayah Lebak Selatan secara lebih terstruktur dan informatif.

D. Analisis Sebar Gempa Bumi terhadap Kategori Magnitudo dan Kedalaman

Setelah dilakukan proses pra-pemrosesan dan kategorisasi terhadap parameter kedalaman, magnitudo, serta jarak episenter ke Desa Panggarangan, tahap selanjutnya adalah menghitung sebaran jumlah gempa bumi berdasarkan kombinasi kategori kedalaman dan magnitudo. Analisis ini bertujuan untuk melihat distribusi atau kecenderungan klaster-klaster gempa bumi dalam setiap kategori. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sebagian besar gempa bumi di wilayah ini tergolong dalam kategori dangkal (kedalaman < 70 km) dan bermagnitudo mikro (1–3 skala Richter) dengan jumlah sebanyak 790 kejadian. Jumlah terbanyak berikutnya adalah kategori dangkal–kecil sebanyak 787 kejadian, lalu dangkal–sedang sebanyak 115 kejadian. Di bawah kategori tersebut, ditemukan gempa menengah–kecil sebanyak 51 kejadian, menengah–mikro 50 kejadian, dangkal–merusak 21 kejadian, menengah–sedang 9 kejadian, dalam–kecil 4 kejadian, dangkal–besar 3 kejadian, serta menengah–merusak dan menengah–besar masing-masing 2 dan 1 kejadian. Sementara itu, kategori dalam–mikro, dalam–sedang masing-masing hanya 1 kejadian, dan kategori dalam–merusak serta dalam–besar tidak ditemukan dalam dataset. Gambar 3.3 menunjukkan visualisasi dari Analisis tersebut, baris menunjukkan kategori kedalaman sedangkan kolom menunjukkan kategori magnitude.

Sebaran Gempa Berdasarkan Kategori Kedalaman (Baris) dan Magnitudo (Kolom)



Gambar 3.3, Sebaran Gempa Berdasarkan Kategori Kedalaman dan Magnitudo

Informasi ini memberikan gambaran bahwa mayoritas aktivitas seismik di wilayah Lebak Selatan didominasi oleh gempa dangkal dengan magnitudo rendah (mikro hingga kecil), yang umumnya tidak menimbulkan dampak kerusakan signifikan [10]. Namun, tetap terdapat kejadian dengan kategori sedang hingga merusak yang perlu diperhatikan sebagai potensi ancaman, meskipun jumlahnya relatif kecil, dikarenakan gempa bumi tersebut dekat dengan zona sesar aktif [1].

E. Analisis Pola pada Diagram Batang berdasarkan Magnitudo, Tahun, Kedalaman serta Jarak Desa Panggarangan ke Titik Episenter Gempa Bumi

Pada analisis ini, terdapat 3 diagram batang, dimana setiap diagram merepresentasikan jumlah gempa bumi antara 3 fitur yang telah ditentukan. Visualisasi pertama (Gambar 3.4) adalah diagram batang menunjukkan jumlah gempa bumi berdasarkan tahun dengan kategori jarak yang sudah dikategorikan, dan setiap plot adalah representasi gempa bumi dengan kategori magnitudo tersebut. Pada kategori gempa Mikro ($M \leq 3,0$), terlihat tren fluktuatif dengan kecenderungan peningkatan jumlah kejadian dari tahun ke tahun, khususnya pada

rentang jarak <80 km dan $80\text{--}160$ km. Pada tahun 2021, tercatat 57 kejadian gempa mikro, didominasi oleh kejadian di bawah 160 km. Jumlah ini meningkat signifikan di tahun 2022 menjadi 188 kejadian, kemudian terus bertambah menjadi 196 kejadian pada 2023. Tahun 2024 mencatat jumlah tertinggi yaitu 306 kejadian, sedangkan di tahun 2025, jumlah kejadian menurun drastis menjadi 94 gempa mikro. Pola distribusi menunjukkan bahwa mayoritas gempa mikro terjadi dalam radius kurang dari 160 km dari titik acuan, sementara kejadian di jarak lebih dari 160 km tergolong minim bahkan cenderung tidak ada untuk jarak lebih dari 240 km.

Untuk kategori gempa Kecil ($3,1 < M \leq 4,0$), distribusi gempa juga menunjukkan dominasi pada jarak dekat, terutama di bawah 160 km. Tahun 2021 terdapat 154 kejadian, dengan konsentrasi terbesar pada jarak $80\text{--}160$ km sebanyak 90 kejadian. Jumlah kejadian meningkat di tahun 2022 menjadi 244, kemudian mengalami penurunan menjadi 186 di tahun 2023. Tahun 2024 mencatat 211 kejadian, lalu terjadi penurunan signifikan di tahun 2025 menjadi 47 kejadian. Sama seperti kategori mikro, kejadian gempa kecil di atas 240 km hampir tidak ada.

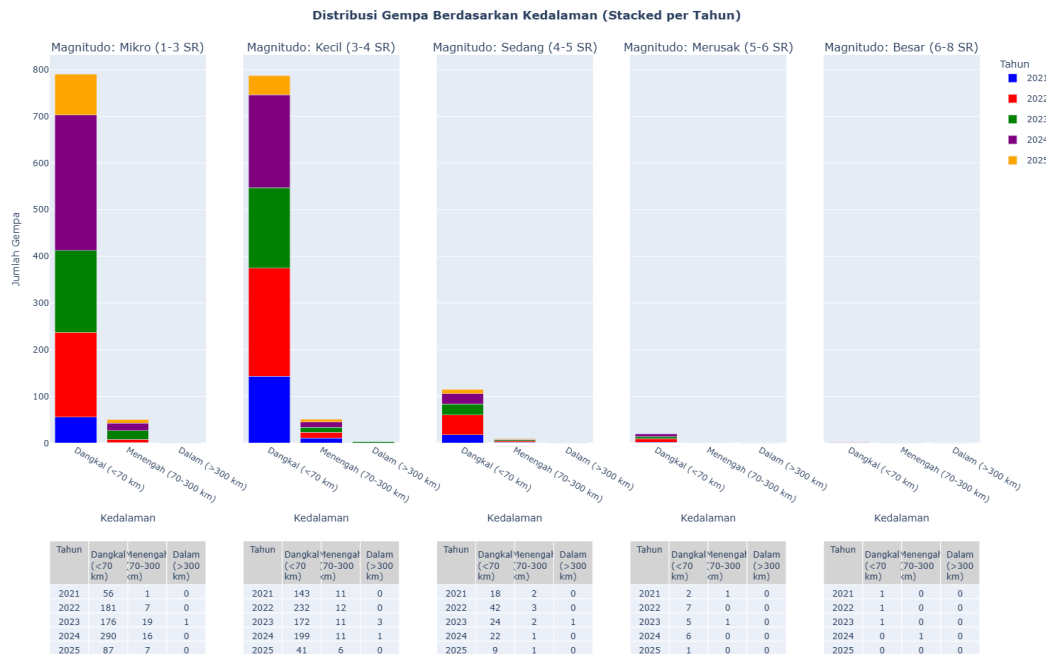
Pada kategori gempa Sedang ($4,1 < M \leq 5,0$), jumlah kejadian relatif lebih kecil dibandingkan kategori sebelumnya. Di tahun 2021 tercatat 20 kejadian, dengan dominasi pada jarak $80\text{--}160$ km. Tren meningkat di tahun 2022 menjadi 45 kejadian, lalu menurun menjadi 27 kejadian pada 2023. Tahun 2024 dan 2025 tercatat masing-masing 23 dan 10 kejadian, dengan sebaran gempa tetap terkonsentrasi pada radius di bawah 240 km.

Kategori gempa Merusak ($5,1 < M \leq 6,0$) menunjukkan kejadian yang relatif jarang, dengan jumlah kejadian per tahun berkisar antara 3 hingga 7 kejadian. Tahun 2021 terjadi 3 kejadian, dan jumlah ini meningkat pada 2022 dan 2023 masing-masing menjadi 7 dan 6 kejadian. Tahun 2024 kembali mencatat 6 kejadian, sedangkan 2025 mengalami penurunan menjadi 1 kejadian saja. Sebagian besar gempa merusak terjadi pada jarak dekat, khususnya <160 km.

Terakhir, untuk kategori gempa Besar ($M > 6,0$), kejadian sangat jarang ditemukan. Pada periode 2021–2025, tercatat hanya 3 kejadian signifikan, masing-masing tersebar pada tahun 2021, 2022, 2023, dan 2024, dengan mayoritas terjadi pada jarak $160\text{--}240$ km atau <80 km. Tahun 2025 tidak tercatat adanya gempa besar. Hal ini menunjukkan bahwa gempa besar di wilayah kajian relatif jarang terjadi, namun tetap perlu menjadi perhatian karena potensi dampak yang besar.

Keseluruhan data menunjukkan bahwa sebagian besar gempa bumi, terutama kategori mikro dan kecil, terjadi dalam radius di bawah 160 km, dengan

tren kejadian fluktuatif setiap tahunnya. Kategori gempa sedang hingga besar cenderung lebih jarang, namun pola distribusinya tetap memperlihatkan dominasi pada wilayah dekat pusat aktivitas seismik.



Gambar 3.4, Distribusi Gempa Berdasarkan Jarak (*Stack* per Tahun)

Visualisasi kedua (Gambar 3.5) adalah diagram batang menunjukkan jumlah gempa bumi berdasarkan kategori jarak dengan kategori kedalaman dan setiap *plot* representasi gempa bumi dengan magnitude tersebut. Distribusi kejadian gempa bumi berdasarkan kombinasi kedalaman dan jarak menunjukkan pola yang cukup konsisten di seluruh kategori magnitudo. Pada kategori gempa Mikro ($M \leq 3,0$), kejadian gempa didominasi oleh gempa dangkal (kedalaman <70 km) dengan jumlah sangat signifikan. Pada jarak <80 km, tercatat 358 kejadian gempa mikro dangkal, diikuti oleh 345 kejadian pada jarak 80–160 km. Jumlah kejadian menurun drastis pada jarak 160–240 km menjadi 87 kejadian, dan tidak ditemukan kejadian untuk jarak lebih dari 240 km. Gempa mikro menengah (70–300 km) relatif sedikit, dan sangat jarang terjadi gempa mikro dengan kedalaman lebih dari 300 km.

Untuk kategori gempa Kecil ($3,1 < M \leq 4,0$), sebaran gempa juga didominasi oleh gempa dangkal. Pada jarak <80 km, tercatat 214 kejadian dangkal, sedangkan jarak 80–160 km menjadi lokasi dengan jumlah tertinggi yaitu 449 kejadian dangkal. Meski jumlahnya jauh lebih kecil, gempa menengah dan dalam

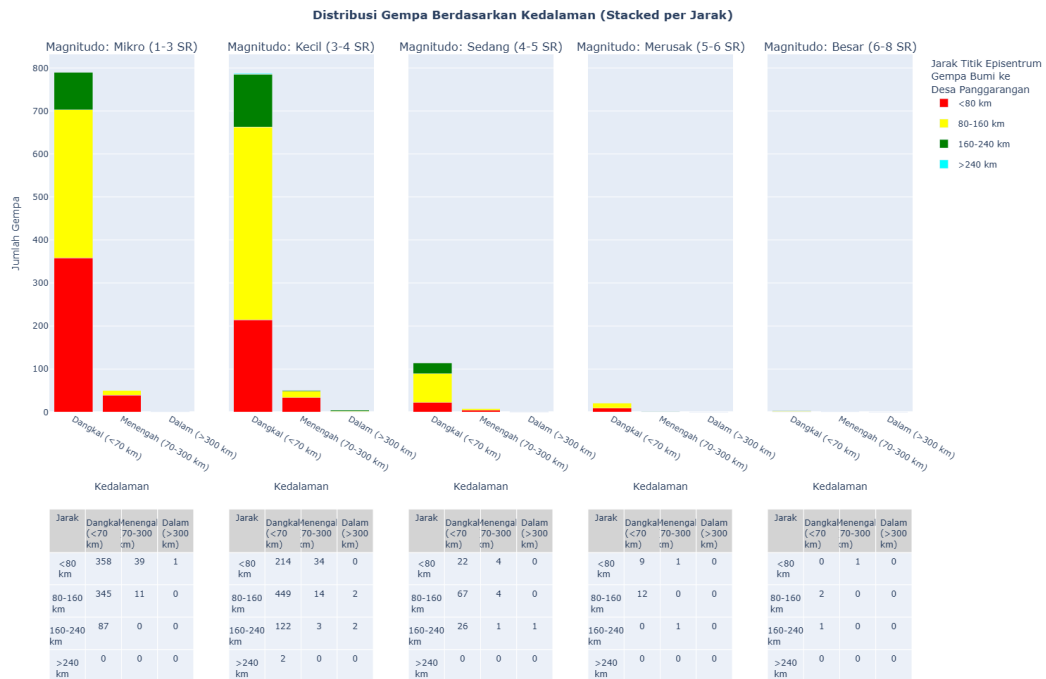
juga mulai tercatat, terutama pada jarak 80–160 km dan 160–240 km, dengan beberapa kejadian bahkan berada pada kedalaman lebih dari 300 km.

Kategori gempa Sedang ($4,1 < M \leq 5,0$) memperlihatkan pola serupa, dengan mayoritas kejadian tergolong dangkal, yaitu 22 kejadian pada jarak <80 km, dan 67 kejadian pada jarak 80–160 km. Jumlah kejadian gempa menengah dan dalam pada kategori ini tetap rendah, dengan hanya beberapa kejadian pada jarak 160–240 km.

Pada gempa Merusak ($5,1 < M \leq 6,0$), kejadian relatif jarang, tetapi tetap didominasi oleh gempa dangkal. Pada jarak <80 km tercatat 9 kejadian, serta 12 kejadian pada jarak 80–160 km. Ada pula satu kejadian gempa menengah di masing-masing jarak <80 km dan 160–240 km, menunjukkan bahwa potensi gempa merusak tidak hanya terbatas pada kedalaman dangkal, meskipun kejadiannya sangat jarang.

Terakhir, untuk kategori gempa Besar ($M > 6,0$), kejadian sangat jarang ditemukan. Tercatat hanya beberapa kejadian yang tersebar, yaitu satu kejadian gempa besar menengah pada jarak <80 km, dua kejadian dangkal pada jarak 80–160 km, serta satu kejadian dangkal pada jarak 160–240 km. Tidak ada kejadian gempa besar dengan kedalaman lebih dari 300 km maupun pada jarak lebih dari 240 km.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa gempa bumi di wilayah ini umumnya didominasi oleh gempa dangkal dengan distribusi kejadian tertinggi terjadi pada jarak <160 km dari pusat aktivitas seismik. Kejadian gempa menengah dan dalam cenderung jarang dan lebih sering muncul pada kategori magnitudo yang lebih besar. Selain itu, jarak lebih dari 240 km menunjukkan tingkat aktivitas gempa yang sangat rendah di semua kategori magnitudo.



Gambar 3.5, Distribusi Gempa Berdasarkan Kedalaman (*Stack* per Jarak)

Visualisasi ketiga (Gambar 3.6) adalah diagram batang menunjukkan jumlah gempa bumi berdasarkan kategori jarak dengan kategori kedalaman dan setiap *plot* representasi gempa bumi dengan magnitude tersebut. Distribusi kejadian gempa bumi berdasarkan kombinasi kedalaman dan tahun menunjukkan dominasi gempa dangkal (kedalaman <70 km) di seluruh kategori magnitude. Pada kategori gempa Mikro ($M \leq 3,0$), jumlah kejadian mengalami fluktuasi dengan kecenderungan meningkat hingga 2024, lalu menurun pada 2025. Pada tahun 2021 tercatat 56 gempa dangkal dan 1 gempa menengah. Jumlah tersebut meningkat signifikan pada 2022 dengan 181 gempa dangkal dan 7 gempa menengah. Tahun 2023 mencatat peningkatan gempa menengah menjadi 19 kejadian serta 1 kejadian gempa dalam (>300 km), sedangkan gempa dangkal tetap tinggi dengan 176 kejadian. Puncak kejadian mikro terjadi di tahun 2024 dengan 290 gempa dangkal dan 16 gempa menengah, lalu menurun pada 2025 menjadi 87 gempa dangkal dan 7 gempa menengah. Tidak terdapat kejadian gempa mikro dalam pada 2024 dan 2025.

Kategori gempa Kecil ($3,1 < M \leq 4,0$) menunjukkan pola yang identik dengan kategori mikro, baik dari segi jumlah maupun sebaran kedalaman. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar kejadian gempa kecil di wilayah kajian

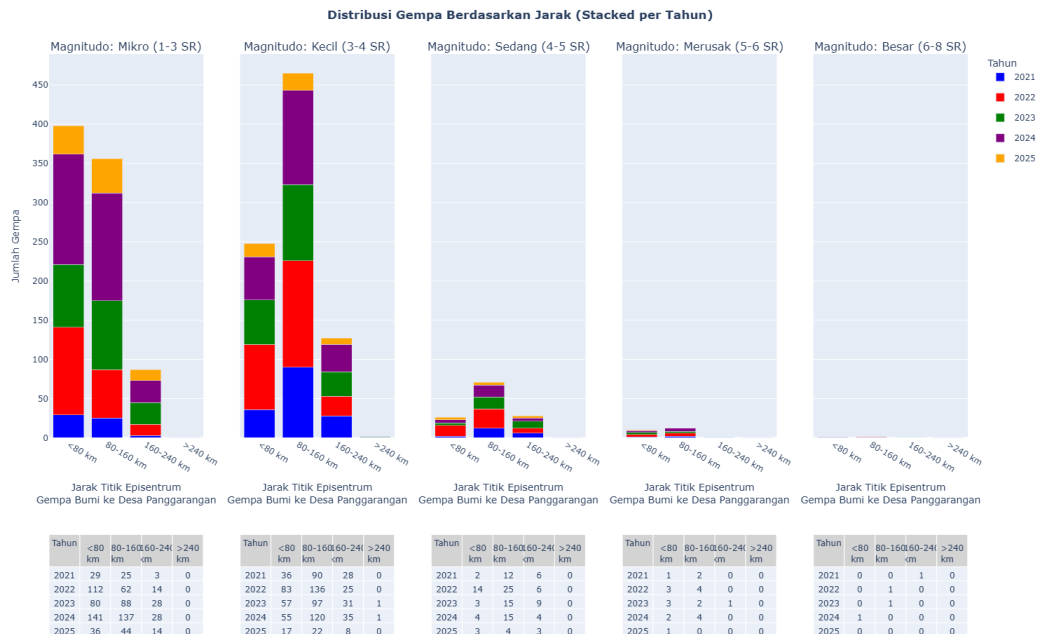
didominasi oleh gempa dangkal, dengan jumlah kejadian tertinggi pada 2024 dan penurunan signifikan di 2025.

Pada kategori gempa Sedang ($4,1 < M \leq 5,0$), jumlah kejadian lebih sedikit namun tetap didominasi oleh gempa dangkal. Tahun 2021 tercatat 18 gempa dangkal dan 2 gempa menengah. Jumlah ini meningkat pada 2022 menjadi 42 gempa dangkal dan 3 gempa menengah. Tahun 2023 menunjukkan adanya 1 gempa dalam di kategori ini, sementara kejadian dangkal menurun menjadi 24. Tahun 2024 dan 2025 masing-masing tercatat 22 dan 9 gempa dangkal, dengan jumlah gempa menengah yang sangat kecil dan tidak ada lagi gempa dalam.

Kategori gempa Merusak ($5,1 < M \leq 6,0$) relatif jarang terjadi, dengan distribusi dominan pada kedalaman dangkal. Pada tahun 2021 tercatat 2 gempa dangkal dan 1 gempa menengah, sementara tahun 2022 mencatat peningkatan menjadi 7 gempa dangkal tanpa gempa menengah maupun dalam. Tahun 2023 menunjukkan adanya 1 gempa menengah, sedangkan tahun 2024 dan 2025 hanya terjadi gempa dangkal tanpa gempa menengah atau dalam.

Sementara itu, kategori gempa Besar ($M > 6,0$) termasuk kejadian yang sangat jarang dengan hanya 1 kejadian per tahun. Pada tahun 2021 hingga 2023, gempa besar yang terjadi semuanya tergolong dangkal. Tahun 2024, satu-satunya gempa besar yang tercatat merupakan gempa menengah, dan pada 2025 tidak ada gempa besar yang dilaporkan.

Secara keseluruhan, pola kejadian gempa bumi di wilayah ini memperlihatkan dominasi gempa dangkal pada seluruh kategori magnitudo, dengan jumlah tertinggi pada 2022 hingga 2024. Kejadian gempa menengah dan dalam tetap sangat jarang, terutama untuk kategori sedang hingga besar. Fenomena ini mengindikasikan bahwa aktivitas gempa bumi di wilayah kajian lebih terkonsentrasi pada gempa-gempa dangkal, yang umumnya memiliki dampak signifikan terhadap permukaan meskipun magnitudonya relatif kecil.



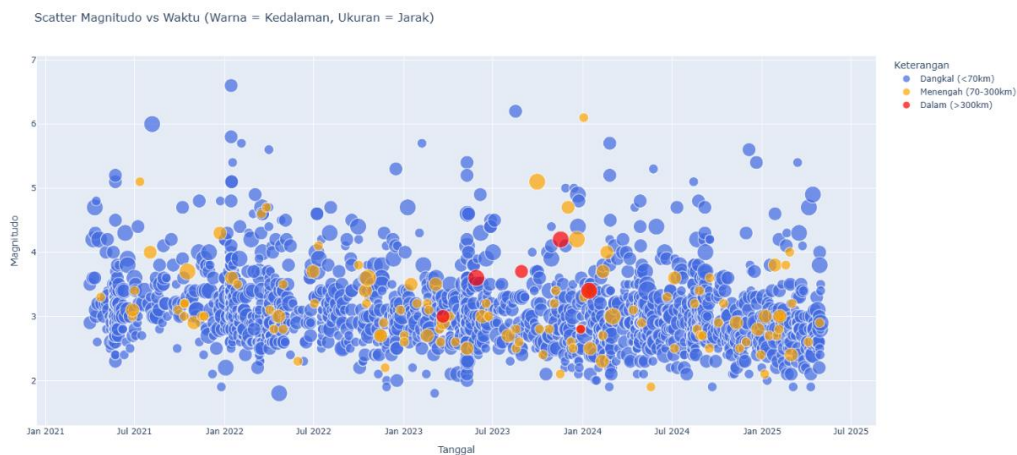
Gambar 3.6, Distribusi Gempa Berdasarkan Kedalaman (*Stack* per Jarak)

F. Analisis Pola pada Diagram Sebar pada Fitur Magnitudo dan Tanggal

Pada analisis ini, terdapat 2 analisis diagram sebar, dalam bentuk 2-dimensi (Gambar 3.7) dan dalam bentuk 3-dimensi (Gambar 3.8). Pada Gambar 3.7, sumbu x sebagai tanggal/*time series* dan sumbu y sebagai magnitudo dari gempa bumi yang terjadi, warna ditandakan sebagai keterangan kedalaman Gempa Bumi, dan ukuran berbasis jarak yang sudah dikategorisasi. Pada Gambar 3.7, mayoritas kejadian gempa bumi dangkal dengan kedalaman kurang dari 70 km cenderung terjadi pada rentang magnitudo sekitar 3, baik sedikit di bawah maupun di atas angka tersebut. Selain itu, meskipun tidak sebanyak kategori magnitudo 3, gempa dangkal juga ditemukan pada magnitudo 4. Kejadian gempa dangkal dengan magnitudo sangat kecil (sekitar 2) maupun besar (di atas 5) relatif jarang, namun terdapat beberapa data yang menunjukkan bahwa gempa dangkal tetap dapat mencapai magnitudo besar, termasuk kejadian gempa dengan magnitudo di atas 6. Pola unik terlihat khususnya pada tanggal 10 hingga 11 Mei 2023, di mana dalam rentang dua hari tersebut terjadi rentetan gempa bumi berulang kali. Kejadian tersebut didominasi oleh gempa dengan jarak 80–160 km, sementara magnitudo bervariasi cukup lebar mulai dari sekitar 2 hingga mencapai magnitudo 5.

Sementara itu, gempa bumi berkedalaman menengah (70–300 km) tergolong jarang, namun pola menarik terlihat dari sebaran magnitudonya. Gempa menengah umumnya berawal dengan magnitudo sekitar 3 hingga 4, lalu cenderung semakin mengecil di periode berikutnya. Namun, pada akhir tahun 2023, terdapat peningkatan magnitudo gempa bumi menengah dengan kejadian mencapai magnitudo di atas 4, yang didominasi oleh jarak antara 80 hingga 240 km. Kejadian yang menonjol lainnya adalah gempa bumi pada 3 Januari 2024, di mana terjadi gempa menengah berkekuatan di atas magnitudo 6 dengan jarak kurang dari 80 km, menunjukkan bahwa gempa besar tidak hanya terbatas pada zona dangkal.

Untuk gempa bumi dalam atau kedalaman lebih dari 300 km, jumlah kejadiannya sangat terbatas, yakni hanya enam kali sepanjang periode pengamatan, tepatnya mulai 22 Maret 2023 hingga 14 Januari 2024. Gempa dalam ini memiliki pola magnitudo yang relatif stabil, dengan seluruh kejadian berkisar di antara magnitudo 3 hingga 4, tanpa adanya kejadian gempa dalam dengan magnitudo ekstrem. Pola-pola ini menunjukkan bahwa gempa bumi di wilayah tersebut lebih didominasi oleh aktivitas gempa dangkal, sementara gempa menengah dan dalam lebih sporadis dengan intensitas dan karakteristik yang berbeda.



Gambar 3.7, Diagram Sebar 2D pada Fitur Magnitudo, Jarak dan Tahun

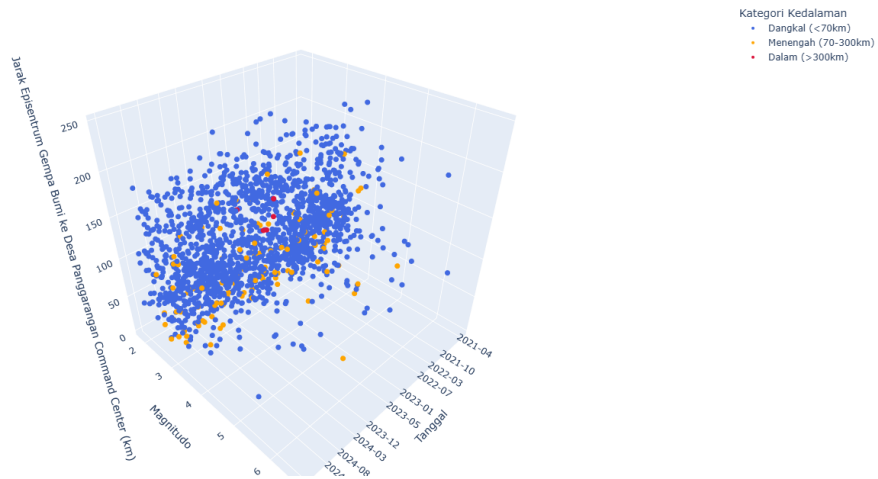
Pada Gambar 3.8, sumbu x sebagai tanggal/*time series* dan sumbu y sebagai jarak dari lokasi episenter gempa bumi ke Desa Panggarangan (representasi dengan lokasi *Command Center* GMLS), sumbu z sebagai magnitude dari gempa bumi. Warna ditandai sebagai keterangan kedalaman Gempa Bumi, dan ukuran berbasis jarak yang sudah dikategorisasi. Secara umum, distribusi data gempa bumi pada visualisasi diagram sebar 3-dimensi memang terlihat cukup acak, namun tetap

terdapat indikasi pola klasterisasi di beberapa periode waktu tertentu. Salah satu klaster yang cukup jelas terlihat terjadi sekitar April 2021, di mana terdapat kumpulan titik-titik gempa bumi dangkal dengan jarak yang relatif seragam, yaitu sekitar 100 km dari Desa Panggarangan, dan magnitudo yang dominan berkisar di angka 3 skala Richter. Pola serupa kembali muncul pada Maret 2022, dengan klaster gempa bumi pada jarak yang lebih dekat, sekitar 50 km, serta magnitudo yang masih konsisten di kisaran 3. Klaster terbaru terpantau pada periode akhir tahun 2024 hingga awal 2025, di mana kembali terlihat kumpulan gempa bumi dengan jarak di bawah 100 km dan magnitudo tetap berada di sekitar 3, memperkuat kesimpulan bahwa mayoritas kejadian gempa dalam data ini berkaitan dengan gempa-gempa bermagnitudo kecil hingga sedang, khususnya sekitar magnitudo 3 seperti yang juga tergambar jelas pada visualisasi Gambar 3.7.

Dari sisi magnitudo, Gambar 3.7 memperkuat temuan bahwa sebagian besar gempa bumi yang terjadi berada pada rentang magnitudo sekitar 2 hingga 3, meskipun terdapat beberapa kejadian gempa dengan magnitudo yang melebihi 4. Gempa bumi berkedalaman menengah (70–300 km) umumnya memiliki sebaran jarak di kisaran 50 hingga 100 km dari Desa Panggarangan, sehingga pola distribusi kedalaman dan jarak tersebut menunjukkan kecenderungan konsentrasi aktivitas seismik di radius yang relatif dekat.

Berbeda halnya dengan gempa bumi dalam atau berkedalaman lebih dari 300 km, di mana distribusi kejadiannya terlalu tersebar dan jumlahnya sangat terbatas untuk ditarik kesimpulan yang kuat. Magnitudo gempa dalam umumnya hanya berkisar antara 3 hingga 4, tanpa adanya variasi signifikan. Menariknya, seluruh gempa dalam ini hanya tercatat terjadi sepanjang tahun 2023, sebagaimana tergambar pula dalam Gambar 3.7 dan telah dijelaskan sebelumnya. Jika ditinjau dari sisi jarak, mayoritas gempa dalam terjadi pada sekitar 100 km dari Desa Panggarangan, dengan hanya satu kejadian anomali yang tercatat pada jarak di bawah 60 km, sebagaimana dapat dilihat pada visualisasi scatter plot 3D. Pola-pola ini memberikan indikasi bahwa meskipun distribusi data cukup acak, terdapat kecenderungan tertentu terkait waktu, jarak, dan magnitudo yang layak untuk ditindaklanjuti dalam analisis seismik lanjutan.

Scatter 3D: Waktu vs Magnitudo vs Jarak (Warna = Kedalaman)



Gambar 3.8, Diagram Sebar 3D pada Fitur Waktu, Magnitudo dan Jarak

G. Analisis Pergerakan Pola Gempa Bumi dengan Lempeng

Pada analisis ini, dilakukan analisis diagram sebar di atas peta Indonesia dengan warna menunjukkan tahun terjadinya gempa bumi. Biru representasi data gempa bumi pada tahun 2021, merah representasi tahun 2022, hijau representasi tahun 2023, ungu representasi tahun 2024, dan warna jingga representasi tahun 2025. Garis merah adalah representasi batas lempeng, dimana datanya didapatkan dari GitHub [4]. Tujuan analisis ini adalah melihat pola terjadinya gempa bumi berdasarkan pola pergerakan gempa bumi karena lempengan tektonik [11]. Gambar 3.9 adalah pola gempa bumi pada peta untuk tahun 2021, Gambar 3.10 adalah pola gempa bumi untuk tahun 2022, Gambar 3.11 untuk tahun 2023, Gambar 3.12 untuk tahun 2024, dan Gambar 3.13 untuk tahun 2025. Terlihat semua gempa bumi berada di atas garis merah yang terletak di Selatan dari pulau Jawa. Ini menunjukkan bahwa semua data gempa bumi berada di lempengan tektonik *Eurasia*, sehingga analisis ini akan mengkomparasi pergerakan pola gempa bumi menuju ke arah pergerakan lempengan tektonik *Eurasia*.

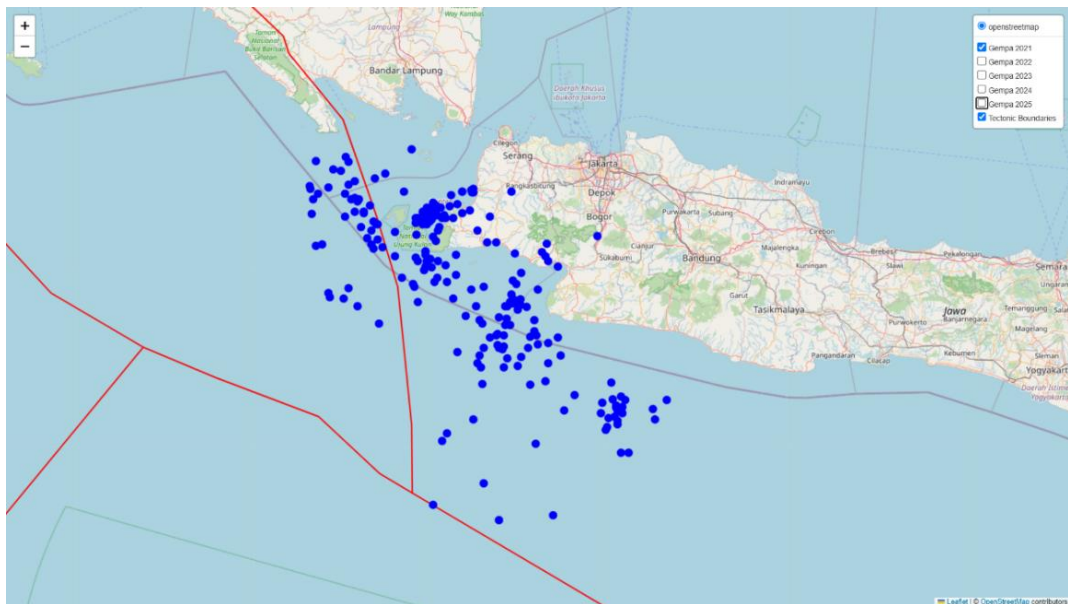
Lempeng Eurasia diketahui bergerak ke arah Tenggara [12], [13], dan indikasi pergerakan ini dapat diamati secara nyata melalui pola persebaran kluster gempa bumi dari tahun ke tahun dalam data yang dianalisis. Transisi distribusi gempa dari tahun 2022 ke 2023, serta dari 2023 ke 2024, memperkuat arah gerakan tersebut. Pada tahun 2021 (Gambar 3.9), kluster gempa bumi yang berada di sekitar wilayah timur Ujung Kulon secara bertahap bergerak ke arah selatan, sehingga

terkumpul menjadi satu klaster yang cukup jelas di bagian selatan Ujung Kulon pada periode berikutnya.

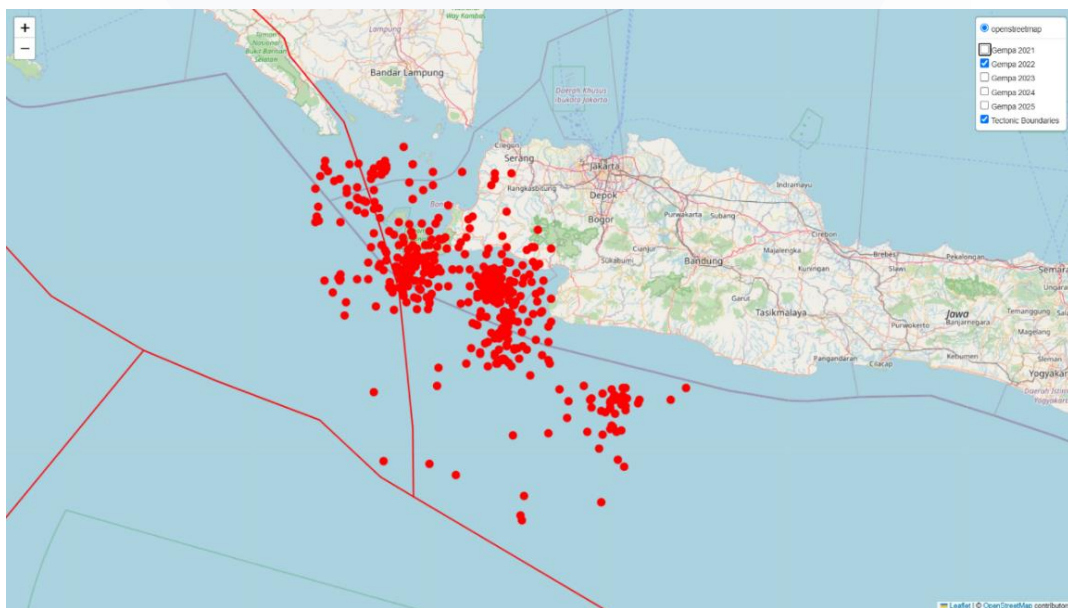
Kemudian, pada tahun 2022 (Gambar 3.10), klaster gempa bumi cukup banyak terdeteksi di sebelah selatan Desa Panggarangan. Namun, pola ini tidak lagi tampak jelas pada tahun 2023 (Gambar 3.11), meskipun masih terdapat beberapa kejadian gempa di area timur dari posisi klaster 2022 tersebut. Di sisi lain, wilayah barat daya dari Tijibeber menunjukkan pola perkembangan klaster yang cukup menarik. Pada tahun 2022, di area ini mulai muncul klaster kecil, dan fenomena tersebut semakin berkembang menjadi klaster yang cukup padat pada tahun 2023.

Selanjutnya, tahun 2023 juga memperlihatkan adanya klaster gempa bumi yang muncul di bagian barat laut Pulau Panaitan. Namun, klaster ini bersifat sementara karena menghilang dan tidak lagi terdeteksi pada tahun 2024 (Gambar 3.12). Pergeseran pola distribusi pada tahun 2024 menunjukkan kemunculan klaster gempa di selatan Ujung Kulon, yang konsisten dengan arah umum pergerakan lempeng ke tenggara. Selain itu, tahun 2024 juga mencatat penumpukan klaster gempa yang cukup signifikan di barat daya wilayah Tijibeber, melanjutkan perkembangan klaster di area tersebut dari tahun sebelumnya.

Berbeda dengan tahun-tahun sebelumnya, pola distribusi gempa bumi pada tahun 2025 (Gambar 3.13) cenderung tidak membentuk klaster yang spesifik. Persebarannya terlihat lebih acak dan tidak menunjukkan pola atau arah dominan yang jelas seperti tahun-tahun sebelumnya. Hal ini mengindikasikan adanya dinamika seismik yang lebih sporadis di tahun tersebut.

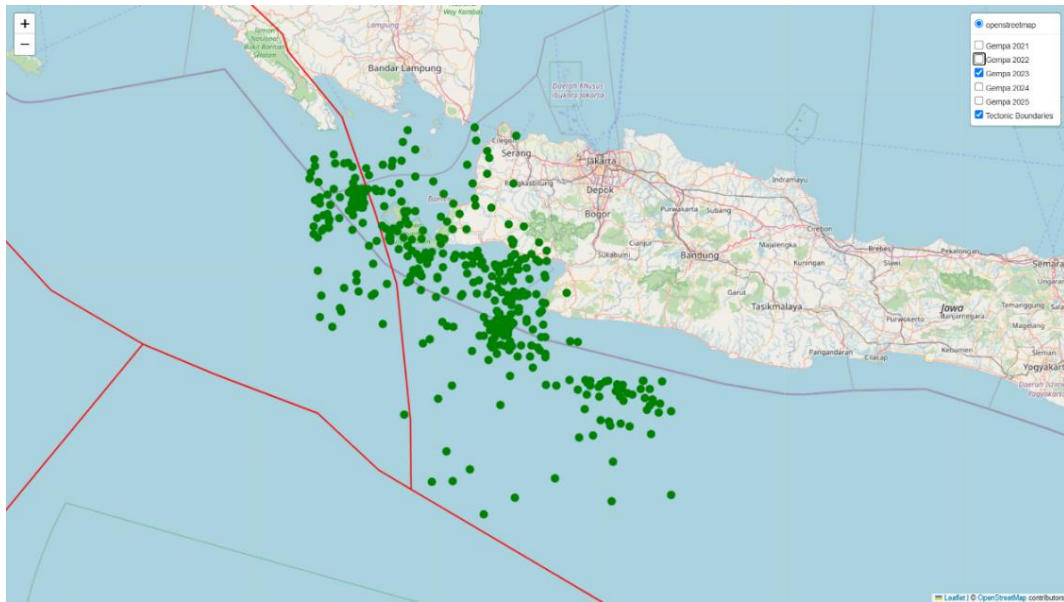


Gambar 3.9, Distribusi Gempa Bumi pada Peta Indonesia Tahun 2021

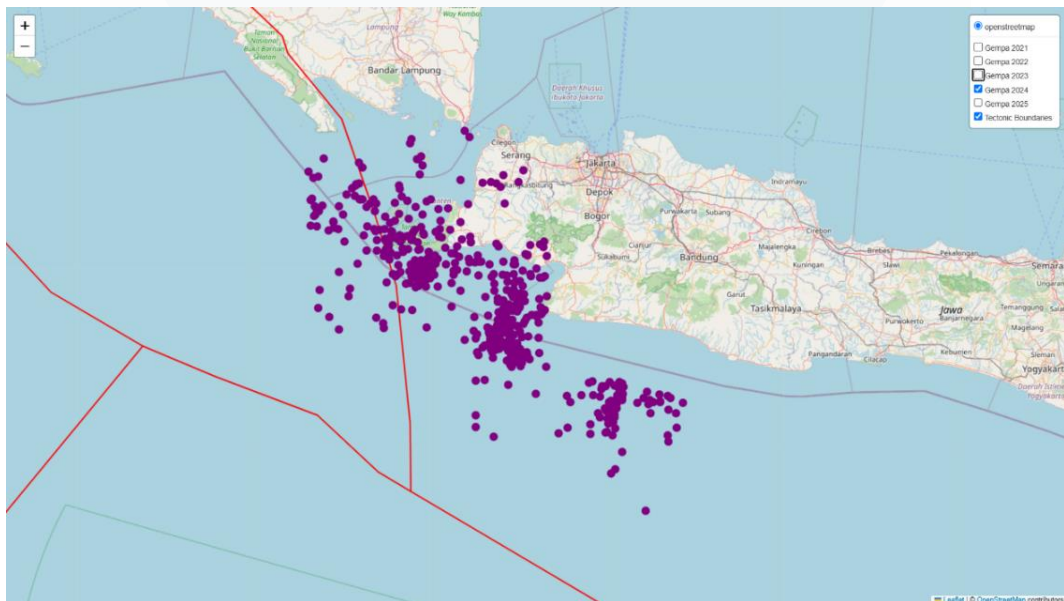


Gambar 3.10, Distribusi Gempa Bumi pada Peta Indonesia Tahun 2022

UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA

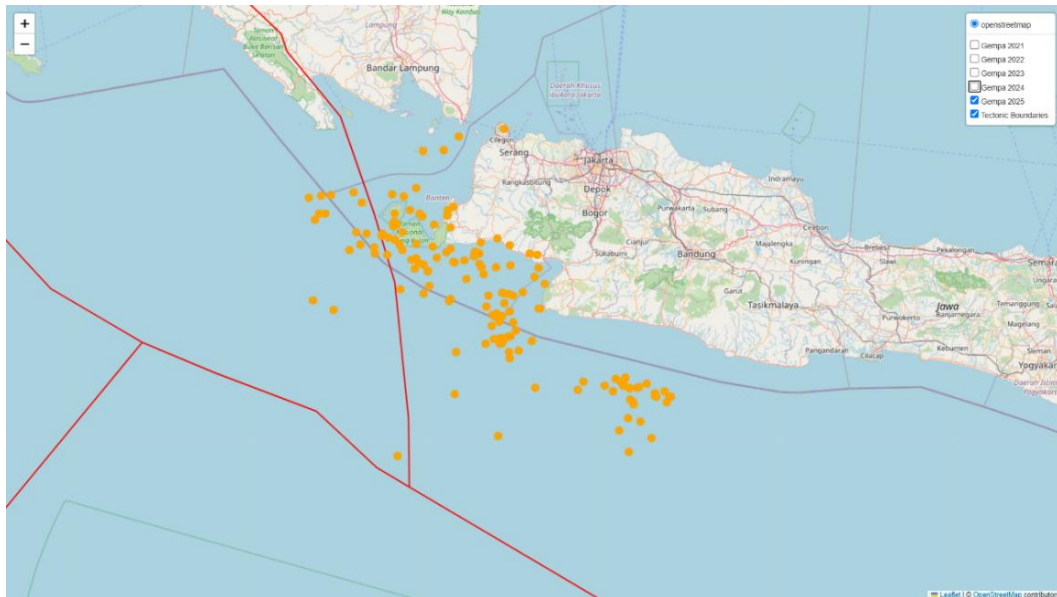


Gambar 3.11, Distribusi Gempa Bumi pada Peta Indonesia Tahun 2023



Gambar 3.12, Distribusi Gempa Bumi pada Peta Indonesia Tahun 2024

UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA



Gambar 3.10, Distribusi Gempa Bumi pada Peta Indonesia Tahun 2022

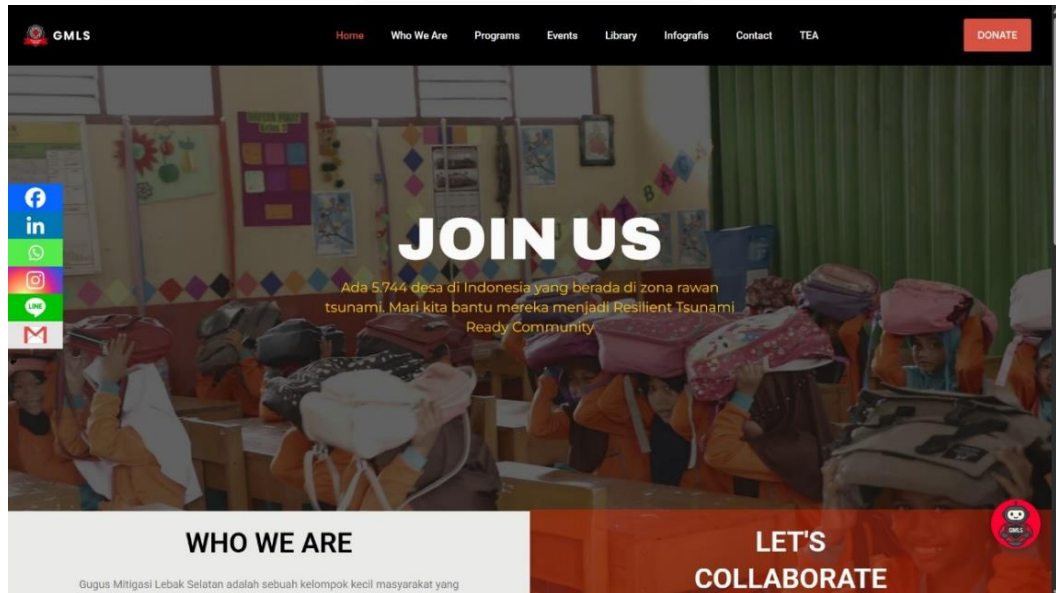
H. Ekspor Visualisasi dalam Format HTML

Setelah seluruh proses analisis selesai dilakukan, semua hasil visualisasi diekspor dalam format HTML untuk memudahkan penyajian dan dokumentasi. Format HTML dipilih karena bersifat interaktif, sehingga pengguna dapat melakukan eksplorasi visualisasi secara langsung tanpa perlu menjalankan ulang skrip analisis. Visualisasi yang bersifat statis, seperti peta Sebaran Gempa Berdasarkan Kategori Kedalaman dan Magnitudo, memiliki visualisasi dalam bentuk PNG, karena tidak memerlukan interaksi pengguna lebih lanjut. Sehingga dilakukan pembuatan file PHP yang akan menampilkan gambar dalam bentuk HTML.

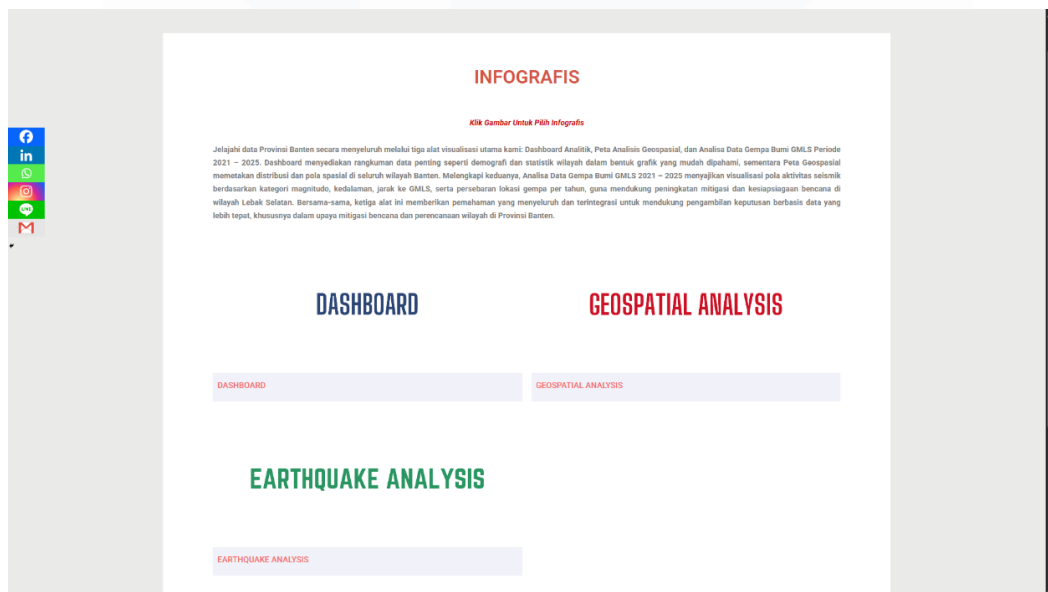
I. Implementasi Hasil Visualisasi dalam bentuk HTML ke dalam Situs GMLS

Saat ini, situs GMLS memiliki menu kecil pada bagian atas halaman yang dapat dilihat pada Gambar 3.14, dimana terdapat menu Infografis. Pada menu Infografis, yang dapat dilihat pada Gambar 3.15, memiliki fitur *Dashboard*, *Geospatial Analysis* dan *Earthquake Analysis*. Hasil visualisasi yang dilakukan akan dimuat dalam *Earthquake Analysis*, dimana terdapat opsi untuk melihat hasil visualisasi sebelumnya. Setiap opsi dapat diklik, dimana halaman GMLS akan menjadi hasil visualisasi dalam bentuk HTML. Hasil implementasi dapat dilihat

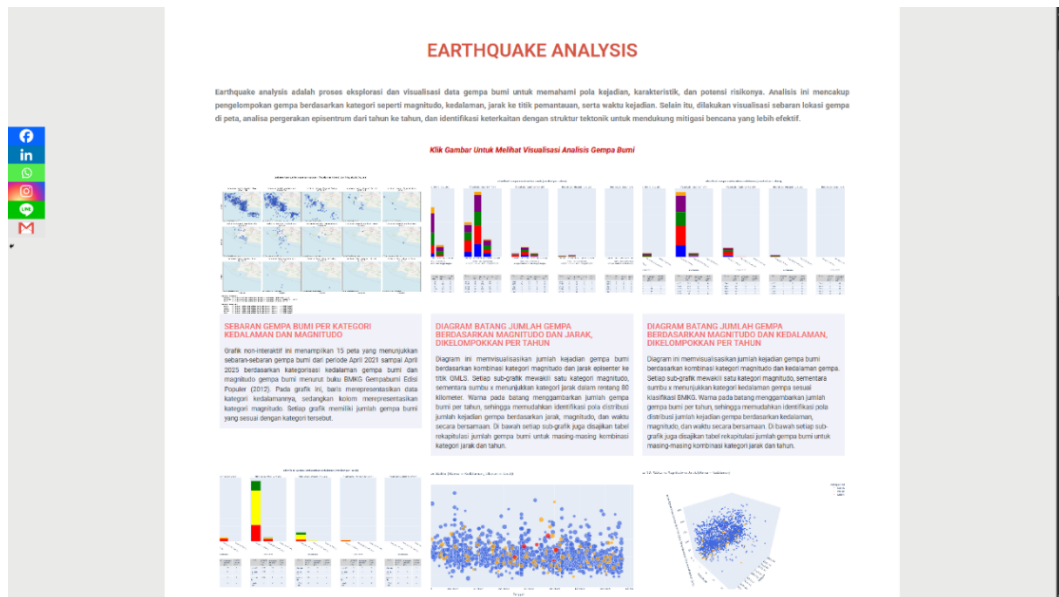
pada Gambar 3.16.



Gambar 3.14, Website <https://gmls.org> pada Halaman Utama



Gambar 3.15, Website <https://gmls.org> pada Halaman Infografis



Gambar 3.16, Website <https://gmls.org> pada *Earthquake Analysis*

3.4 Kendala yang Ditemukan

Dalam proses analisis ini, terdapat beberapa kendala yang memengaruhi kelengkapan dan cakupan hasil. Salah satu kendala utama adalah tidak tersedianya dataset tektonik yang mencakup informasi batas lempeng, zona subduksi, maupun elemen geologi lain yang dibutuhkan untuk analisis keterkaitan langsung antara pola gempa bumi dan aktivitas lempeng tektonik di wilayah kajian. Selain itu, jumlah data gempa bumi yang digunakan terbatas, yaitu hanya sebanyak 1835 data, sehingga masih terdapat kemungkinan bahwa pola yang terdeteksi belum sepenuhnya mewakili keseluruhan aktivitas seismik yang terjadi. Rentang waktu data juga tidak ideal, karena dataset dimulai dari April 2021 hingga April 2025, bukan mencakup periode penuh dari Januari 2021 hingga Desember 2025. Kondisi ini menyebabkan adanya keterbatasan dalam analisis tahunan serta sulit untuk melihat pola jangka panjang atau tren yang mungkin muncul jika rentang data lebih lengkap.

3.5 Solusi

Untuk mengatasi keterbatasan ketersediaan dataset tektonik, solusi yang dilakukan adalah dengan mencari dan mengunduh dataset batas lempeng dan elemen tektonik lainnya dari repositori terbuka seperti GitHub. Dataset tersebut kemudian dilakukan proses crosscheck atau pencocokan dengan beberapa sumber

dataset lainnya guna memastikan keakuratan posisi dan menghindari terjadinya pergeseran posisi data (offset) yang dapat memengaruhi hasil analisis spasial. Sementara itu, meskipun jumlah data gempa bumi yang tersedia hanya sebanyak 1835 data, seluruh data tetap digunakan karena masih memenuhi kebutuhan dasar untuk analisis pola dan distribusi gempa bumi. Selain itu, meskipun dataset tidak mencakup periode penuh dari Januari 2021 hingga Desember 2025, data yang tersedia diawali dengan kejadian gempa bumi pertama pada April 2021, tanpa adanya data kosong (NA) di bagian awal, sehingga tidak mengganggu konsistensi dan kelengkapan analisis sepanjang periode yang tersedia.

