

**ISOSEISMAL, KERENTANAN, DAN RASIO KERUSAKAN
BANGUNAN RUMAH TINGGAL
(Studi Kasus Gempa Bumi 2 Juli 2013 di Kabupaten Aceh Tengah dan
Kabupaten Bener Meriah)**

Muhammad Arrie Rafshanjani Amin, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
Email : arrierafsanjani@utu.ac.id

ABSTRAK

Aceh Tengah dan Bener Meriah, yang terletak di jalur penunjaman lempeng Asia dan Australia, merupakan wilayah yang rawan terhadap bencana gempa bumi. Pada tanggal 2 Juli 2013, gempa berkekuatan 6,1 SR mengguncang provinsi Aceh. Penelitian ini bertujuan untuk membuat peta isoseismal, mengetahui atenuasi dan jarak, serta menganalisis kerentanan dan rasio kerusakan bangunan rumah tinggal akibat gempa. Metode yang digunakan meliputi observasi lapangan, penyebaran kuesioner, dan wawancara kepada responden yang mengalami langsung gempa untuk memperoleh informasi akurat mengenai kerusakan. Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan software ARC-View GIS untuk menghasilkan peta isoseismal. Penelitian juga mengelompokkan data kerusakan bangunan berdasarkan intensitas gempa dan menghitung rasio kerusakan rumah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peta isoseismal memiliki delapan gradasi warna yang menggambarkan distribusi intensitas gempa. Intensitas tertinggi IX MMI ditemukan di sekitar episenter, dengan distribusi kerusakan yang merata secara radial. Persamaan atenuasi yang ditemukan adalah $I_x = 9.638 e^{-0.01138x}$. Dalam hal kerentanan bangunan, sebagian besar rumah di daerah dengan intensitas IX-V MMI tidak mengalami kerusakan (52,05%-91,08%). Rasio kerusakan rumah menunjukkan bahwa 96,25% rumah roboh, 70,08% rusak berat, 28,08% rusak sedang, dan 3,87% rusak ringan. Nilai rasio kerusakan ini sesuai dengan standar FEMA 1999. Penelitian ini memberikan gambaran mengenai dampak gempa terhadap bangunan rumah tinggal dan pentingnya mitigasi bencana berdasarkan konstruksi bangunan yang tahan gempa.

Kata Kunci : Isoseismal, Intensitas, Kerentanan, Rasio Kerusakan, Gempabumi.

1. PENDAHULUAN

Indonesia, yang berada di wilayah Cincin Api, terkenal dengan tingkat kerentanannya yang tinggi terhadap bencana alam, terutama gempa bumi. Negara ini dilalui oleh tiga lempeng tektonik aktif, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, yang menyebabkan aktivitas seismik di Indonesia sangat tinggi (BMKG, 2013). Salah satu daerah yang paling rawan gempa adalah Pulau Sumatera, terutama di sepanjang zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Zona ini sering menjadi penyebab gempa besar, salah satunya adalah gempa yang terjadi pada 2 Juli 2013 yang mengguncang Aceh Tengah dan Bener Meriah (Laporan Gempa Bumi, 2013). Gempa ini menyebabkan kerusakan parah, kerusakan puluhan orang, serta merusak ribuan bangunan, terutama rumah tinggal yang sangat terdampak (BMKG, 2013). Fenomena ini menimbulkan pertanyaan mengenai hubungan antara intensitas gempa dengan kerusakan bangunan, yang hingga saat ini masih belum banyak dijelaskan secara rinci di wilayah tersebut (Berberian, 1997). Meskipun banyak penelitian yang membahas dampak gempa terhadap kerusakan bangunan, sebagian besar lebih fokus pada daerah yang lebih luas dan kurang memperhatikan

hubungan antara intensitas gempa yang diukur dengan kerusakan rumah tinggal, khususnya di daerah yang memiliki karakteristik geologi dan seismik tertentu seperti Aceh Tengah dan Bener Meriah (Fitriyana, 2009).

Fenomena gempa Aceh 2013 menciptakan gambaran empiris yang signifikan dalam penelitian kerusakan bangunan, yaitu kurangnya studi yang membahas hubungan antara intensitas gempa yang dipetakan melalui peta isoseismal dengan kerusakan bangunan rumah tinggal secara lebih rinci dan spesifik. Irsyam, (2007), peta isoseismal yang menggambarkan kontur intensitas gempa berdasarkan skala MMI (Modified Mercalli Intensity) dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dampak gempa pada bangunan, namun hingga saat ini masih sedikit penelitian yang memetakan hubungan tersebut dengan kerusakan bangunan secara khusus. Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan fokus pada analisis intensitas gempa dan dampaknya terhadap bangunan rumah tinggal di wilayah Aceh Tengah dan Bener Meriah (BMKG, 2013).

Dari sisi teori, meskipun teori-teori terkait gempa dan mitigasi bencana telah berkembang pesat, teori tersebut masih ada terkait dengan penerapan teori-teori intensitas gempa dalam mengukur kerusakan bangunan rumah tinggal. Banyak teori yang lebih terfokus pada pengaruh gempa pada infrastruktur besar dan area yang lebih luas, sementara sedikit yang mengintegrasikan teori tersebut dengan data empiris tentang kerusakan pada rumah tinggal di daerah yang sangat rentan seperti Aceh (FEMA, 1999). Penelitian ini bertujuan untuk mengisi teori tersebut dengan menghubungkan teori seismologi mengenai intensitas gempa dengan kerusakan bangunan rumah tempat tinggal melalui peta isoseismal dan analisis empiris yang lebih mendalam (BAPEDA Bener Meriah, 2012).

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menghasilkan peta isoseismal yang menggambarkan intensitas gempa menggunakan skala MMI pada gempa yang melanda Aceh Tengah dan Bener Meriah pada 2 Juli 2013 (BMKG, 2013). Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi persamaan atenuasi global antara intensitas gempa (I) dan jarak dari kontur isoseismal, yang akan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang bagaimana gempa tersebut mempengaruhi area yang lebih luas terjadi (Kementrian Sosial, 2013). Selain itu, penelitian ini akan menganalisis hubungan antara intensitas gempa dan kerusakan pada bangunan rumah tinggal, serta identifikasi kerentanannya berdasarkan tingkat kerusakan yang terjadi. Penelitian ini juga bertujuan untuk menghitung rata-rata rasio kerusakan pada rumah yang mengalami kerusakan ringan, sedang, berat, hingga roboh total, dan memahami hubungan antara rasio kerusakan dengan berbagai skala intensitas gempa yang diukur [Ibnu R, 2012]. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam bidang mitigasi bencana, serta memberikan informasi yang berguna untuk perencanaan pembangunan dan kebijakan mitigasi di daerah rawan gempa. (Moleong, 1993).

2. TINJAUAN TEORY

2.1 Gempabumi

Gempa bumi terjadi akibat pergerakan atau pergeseran lapisan batuan di bawah permukaan bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi yang terakumulasi akibat pergerakan lempeng tektonik (Dowrick DJ, 2003). Gerakan ini terjadi secara tiba-tiba, melepaskan energi yang tersebar ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik, yang dampaknya dapat dirasakan hingga ke permukaan bumi (Ibnu R, 2012). Inilah yang menyebabkan terjadinya gempa bumi. Berdasarkan penyebabnya, gempa dapat dipecah menjadi beberapa jenis.

A. Meteorit Gempa Gempa ini disebabkan oleh benda langit yang jatuh ke bumi, misalnya meteor. Apapun peristiwa Gempa ini disebabkan oleh benda langit yang jatuh ke bumi, seperti meteor (Ibnu R, 2012). Meskipun peristiwa ini pernah terjadi pada masa lalu, gempa jenis ini sudah tidak terjadi lagi di era modern (Fitriyana, 2006).

B. Gempa Tanah Runtuh

Gempa ini disebabkan oleh runtuhnya tanah dalam jumlah besar, seperti yang terjadi saat gua ambruk (Moleong, 1993). Gempa ini biasanya berukuran kecil, bersifat lokal, dan sulit diprediksi, serta menyebabkan kerusakan bangunan. Gempa ini disebabkan oleh runtuhnya tanah dalam jumlah besar, seperti yang terjadi saat gua ambruk. Gempa ini biasanya berukuran kecil, bersifat lokal, dan sulit diprediksi, serta menyebabkan kerusakan bangunan yang relatif minimal (Ozmen B, 2000).

C. Gempa Letusan

Gempa yang terjadi akibat letusan gunung berapi (gempa vulkanik) atau Gempa yang terjadi akibat letusan gunung berapi (gempa vulkanik) atau ledakan buatan manusia, seperti percobaan bom nuklir. Letusan ini dapat menghasilkan gempa dengan magnitudo tinggi, meskipun dapat mengurangi frekuensi gempa tektonik.

D. Gempa Tektonik

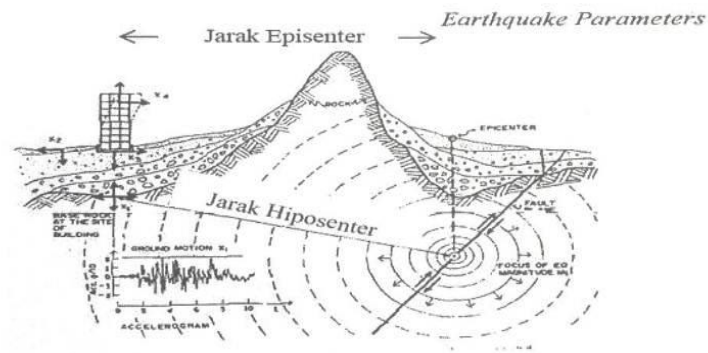
Jenis gempa ini adalah yang paling berbahaya dan sering menyebabkan bencana. Jenis gempa ini adalah yang paling berbahaya dan sering menyebabkan bencana besar. Gempa ini terjadi akibat pergerakan lempeng tektonik yang saling bergeser, yang dipicu oleh tekanan dan panas yang terakumulasi di dalam lapisan bumi.

E. Gempa Tektonik

Gempa tektonik adalah getaran yang terjadi pada permukaan bumi akibat pelepasan energi secara mendadak yang dihasilkan dari pecahnya massa batuan di kerak bumi. Energi ini merambat dari pusat gempa ke segala arah. Gempa ini terjadi karena pergerakan lempeng tektonik yang disebabkan oleh proses konveksi, yang menimbulkan tegangan di batas lempeng. Ketika tegangan tersebut mencapai batas maksimal, batuan pecah dan menyebabkan gempa.

2.3 Pusat Gempa, Jarak Episenter, dan Kedalaman Gempa

Pusat gempa (fokus) adalah titik yang terletak di bawah permukaan bumi, di mana energi gempa pertama kali dilepaskan. Titik ini juga disebut hiposenter. Proyeksi vertikal dari hiposenter yang permukaan bumi dikenal sebagai menuju episenter (Sari and . 2021). Jarak episenter Merujuk pada jarak antara titik pusat gempa di permukaan bumi dan lokasi yang sedang dijelaskan (Nadzir et al. 2024). Secara umum, semakin dekat lokasi dengan episenter, semakin kuat guncangan gempa yang dirasakan, dibandingkan dengan lokasi yang lebih jauh. Kedalaman gempa adalah jarak antara hiposenter dan episenter, yaitu jarak dari pusat gempa yang terletak di bawah tanah menuju permukaan bumi (Hidayatullah et al. 2023). Berdasarkan kedalamannya, gempa dapat membentuk kategori berikut: a. Gempa dalam: kedalaman antara 300 - 700 km; B. Gempa sedang: kedalaman antara 70 - 300 km; C. Gempa dangkal: kedalaman kurang dari 70 km (sekitar 75% dari gempa yang terjadi). Gempa cenderung lebih merusak dibandingkan dengan gempa dalam karena gempa pusat yang lebih dekat dengan permukaan bumi, yang menimbulkan getaran yang lebih kuat dirasakan (Harahap et al. 2022).



Gambar 2.2 Jarak Episenter dan Jarak Hiposenter
(Irsyam, 2007 dalam Wijaya, 2009)

2.4 Sesar

Sesar terbentuk ketika ada gaya yang saling berlawanan, yang menyebabkan perubahan pada massa tanah atau batuan (Azmiyati 2021). Tegangan geser yang dihasilkan dari pergerakan ini melebihi kapasitas geser material tersebut. Secara umum, sesar memiliki ciri-ciri fisik, seperti panjang, lebar, dan kedalaman (Maharani, et al. 2024). Panjang patahan bisa mencapai ratusan kilometer, sedangkan lebar patahan bisa mencapai sekitar dua puluh meter. Kedalaman patahan bervariasi antara dua puluh hingga tiga puluh meter. Selain itu, sesar tidak hanya terbentuk di bidang horizontal, tetapi juga dapat membentuk sudut patahan (dip-slip). Pergerakan pada sesar dapat terjadi dalam berbagai arah, seperti gerakan mendatar, gerakan turun, gerakan naik, atau kombinasi dari gerakan-gerakan tersebut (Ambarsari et al. 2021). Beberapa jenis sesar meliputi: sesar normal untuk gerakan turun, sesar terbalik untuk gerakan naik, sesar geser mendatar untuk gerakan mendatar, dan sesar oblique yang merupakan kombinasi dari gerakan turun dan mendatar.

2.4 Magnitude dan Energi Gempabumi

Gempa dapat diukur dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan mengukur energi yang dikeluarkan oleh gempa atau jenis gelombang yang dihasilkannya (Wibowo et al. 2024). Salah satu skala yang paling dikenal adalah skala Richter, yang sering disebut sebagai Magnitude Lokal (ML) karena pengukuran ini hanya terjadi untuk gempa yang bersifat lokal (Sari et al. 2020). Selain itu, terdapat beberapa jenis pengukuran magnitudo lainnya, seperti Body Magnitude (MB), Surface Magnitude (Ms), dan Moment Magnitude (Mw), yang masing-masing memiliki karakteristik pengukuran yang berbeda (Putra and Saputra 2022).

3. METODOLOGY

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif untuk menganalisis dampak gempa bumi yang terjadi di Aceh pada 2 Juli 2013. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh wawasan yang lebih mendalam mengenai distribusi intensitas gempa dan kerusakan bangunan di area yang terdampak. Metode analisis yang digunakan adalah statistik deskriptif, yang bertujuan untuk menyajikan hasil penelitian secara sistematis dan objektif. Dalam desain penelitian ini, pembuatan peta isoseismal digunakan untuk menunjukkan tingkat kerusakan di berbagai lokasi yang terdampak. Selain itu, penelitian ini juga melakukan perhitungan rasio kerusakan bangunan (damage ratio) dengan cara mengukur dan menghitung kerusakan pada rumah tinggal permanen yang terkena dampak gempa.

3.2 Populasi dan Sampel:

Populasi Penelitian: Populasi yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah seluruh penduduk yang tinggal di daerah yang terkena dampak gempa di Aceh. Populasi yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah seluruh penduduk yang tinggal di daerah yang terkena dampak gempa bumi di Aceh, terutama di Kabupaten Aceh Tengah dan Bener Meriah.

Sampel Penelitian: Mengingat luasnya wilayah dan terbatasnya sumber daya, penelitian ini menggunakan teknik purposive sampling (pengambilan sampel dengan tujuan tertentu). Sampel dipilih berdasarkan kriteria tertentu, seperti kedekatannya dengan episenter gempa, dengan jumlah sampel yang bervariasi di setiap kecamatan. Mengingat luasnya wilayah dan terbatasnya sumber daya, penelitian ini menggunakan teknik purposive sampling (pengambilan sampel dengan tujuan tertentu). Sampel dipilih berdasarkan kriteria tertentu, seperti kedekatannya dengan episenter gempa, dengan jumlah sampel yang bervariasi di setiap kecamatan. Responden yang dipilih adalah individu yang dapat memberikan informasi yang akurat terkait pengalaman mereka selama gempa dan kerusakan yang terjadi pada bangunan.

Jumlah sampel untuk penelitian ini adalah 155 responden, yang terdiri dari:

- Aceh Tengah: 14 kecamatan, masing-masing 5 responden, total 70 responden.
- Bener Meriah: 10 kecamatan, masing-masing 5 responden, total 50 responden.
- Kecamatan lainnya di Aceh: 35 responden dari berbagai kabupaten yang berbatasan langsung dengan Bener Meriah.

3.3 Pengumpulan Data

1. Data Primer

- 1) Kuesioner: Disebarkan di seluruh daerah yang terdampak gempa, dengan tujuan mengukur pengalaman individu terhadap dampak gempa. Data yang terkumpul digunakan untuk menghitung nilai MMI.
- 2) Wawancara: Dilakukan dengan responden yang dapat memberikan informasi lebih lanjut tentang kondisi di daerah mereka. Wawancara ini juga digunakan untuk mengonfirmasi data yang diperoleh dari kuesioner.
- 3) Observasi Lapangan: Melibatkan dokumentasi visual dan pengukuran kerusakan pada bangunan dan lingkungan sekitar, serta perhitungan damage ratio pada rumah tinggal yang terdampak.

2. Data Sekunder

- 1) Data Magnitudo dan Pusat Gempa: Sumber data dari instansi terkait seperti USGS, BMKG, dan BNPB mengenai informasi gempa.
- 2) Foto Kerusakan: Dokumentasi kerusakan bangunan dan lingkungan akibat gempa dari berbagai sumber.
- 3) Peta Wilayah dan Geologi: Peta dasar wilayah Aceh, serta peta geologi yang digunakan untuk analisis lebih lanjut.

3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan:

1. **Perhitungan Intensitas Maksimum (I_0)** : Menggunakan perhitungan untuk menghitung nilai I_0 sebagai indikasi tingkat intensitas gempa di berbagai daerah.

2. **Perhitungan Skala MMI** : Nilai rata-rata MMI dihitung berdasarkan kuesioner yang diisi oleh responden, yang mencakup persepsi individu, dampak pada objek, kondisi lingkungan, dan kerusakan bangunan.
3. **Pembuatan Peta Isoleismal** : Menggunakan perangkat lunak Arc-View GIS untuk menganalisis dan memvisualisasikan distribusi intensitas gempa dalam bentuk peta isoleismal berdasarkan data MMI yang dikumpulkan.
4. **Perhitungan Kerusakan Bangunan (Damage Ratio)** : Menganalisis rasio kerusakan bangunan dengan menghitung volume komponen bangunan sebelum dan setelah gempa, serta mengukur kerusakan berdasarkan tingkat kerusakan rumah (roboh, rusak berat, rusak sedang, rusak ringan). Nilai kerusakan dihitung menggunakan estimasi nilai bangunan dan biaya perbaikan.
5. **Analisis Korelasi Antara Jarak dan MMI** : Menghitung hubungan antara jarak dari episenter dengan nilai MMI untuk mengidentifikasi pola distribusi intensitas gempa di daerah yang terdampak.

4. HASIL

Hasil

1. Pusat Gempa dan Magnitudo

$I_o = 1,5 (M - 0,5)$ $I_o = 1,5 (6,1 - 0,5)$ $I_o = 8,4$ Gempa yang terjadi pada 2 Juli 2013 di Aceh memiliki pusat gempa pada koordinat 4.698° LU, 96.687° BT dengan magnitudo 6,1 Mw pada kedalaman 10 km. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan Gutenberg dan Richter, intensitas maksimum yang diukur adalah $I_o = 8,4$, yang setara dengan IX MMI pada skala Modified Mercalli Intensity (MMI). Hal ini menunjukkan bahwa guncangan gempa tersebut sangat kuat dan dapat menyebabkan kerusakan signifikan di sekitar episenter. Pusat gempa pada 2 Juli 2013 di Aceh berada pada koordinat 4.698° LU, 96.687° BT dengan magnitudo 6,1 Mw dan kedalaman 10 km, menurut sumber dari United States Geological Survey (USGS). Gempa ini diratakan sebagai gempa dangkal karena kedalamannya kurang dari 70 km (Fowler, 1990). Perhitungan intensitas maksimum (I_o) menggunakan persamaan Gutenberg dan Richter (1956) menghasilkan:

$$\begin{aligned} I_o &= 1,5 (M - 0,5) \\ I_o &= 1,5 (6,1 - 0,5) \\ I_o &= 8,4 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa intensitas maksimum yang diukur adalah $I_o = 8,4$, yang setara dengan IX MMI, sesuai dengan tabel yang disusun oleh Ohio Geological Survey, yang menjelaskan bahwa intensitas di atas IX MMI terjadi jika magnitudo gempa lebih besar dari 7. Hubungan antara intensitas maksimum (I_o) dan magnitudo gempa dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hubungan Intensitas Maksimum (Io) dan Magnitude Gempa

M0dified Mercalli Scale		Magnitude	
VIII	Panel walls thrown out of frames; walls, monuments, chimneys fall; sand and mud ejected; drivers of autos disturbed	5.5	—
IX	Buildings shifted off foundations, cracked, thrown out of plumb, ground cracked, underground pipes broken	6	—
X	Most masonry and frame structures destroyed; ground cracked, rails bent, landslides	6.5	—
		7	—

2. Skala Intensitas dan Respon

- Respon Orang: Skala intensitas mengukur reaksi manusia terhadap gempa, dari yang hanya merasakan getaran hingga panik dan lari ke luar rumah. Pada intensitas IX MMI, hampir semua orang merasakan getaran, panik, dan berlarian ke tempat aman.
- Respon Objek: Menilai dampak getaran terhadap benda-benda sekitar, seperti furniture yang jatuh atau bergerak. Pada intensitas IX, hampir semua perabot rumah tangga, seperti meja dan kursi, berjatuh dan rusak.
- Respon Lingkungan: Mencakup kerusakan pada lingkungan, seperti pohon yang tumbang, tanah yang longsor, dan rekahan pada permukaan tanah. Intensitas tinggi menyebabkan kerusakan lingkungan yang signifikan, termasuk longsor dan likuifaksi (Larasati 2022).
- Kerusakan Bangunan: Kerusakan bangunan rumah tinggal bervariasi dari rusak ringan hingga roboh. Pada IX MMI, banyak bangunan yang hancur total, terutama di daerah yang dekat dengan episenter.

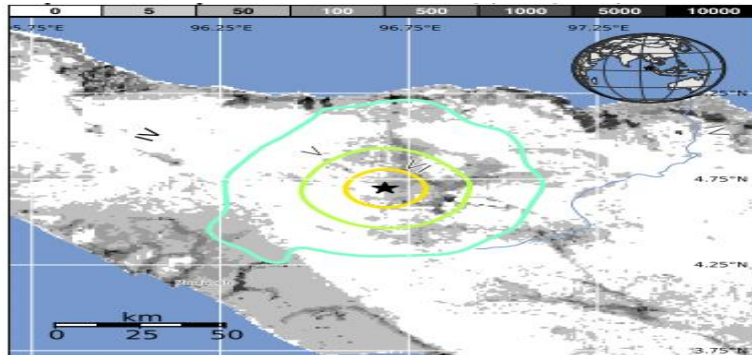
3. Sebaran Kerusakan

Daerah yang sangat terdampak adalah Aceh Tengah dan Bener Meriah, terutama di kecamatan Ketol yang mengalami longsor besar. Desa Serempah di Kecamatan Ketol hampir seluruhnya hilang ke dasar tebing akibat getaran gempa yang sangat kuat (Handayani et al. 2022). Sebagian besar bangunan di wilayah ini roboh total. Di kecamatan lainnya, kerusakan bangunan berkisar dari kerusakan ringan hingga berat, dengan kerusakan lebih parah di sekitar episenter.

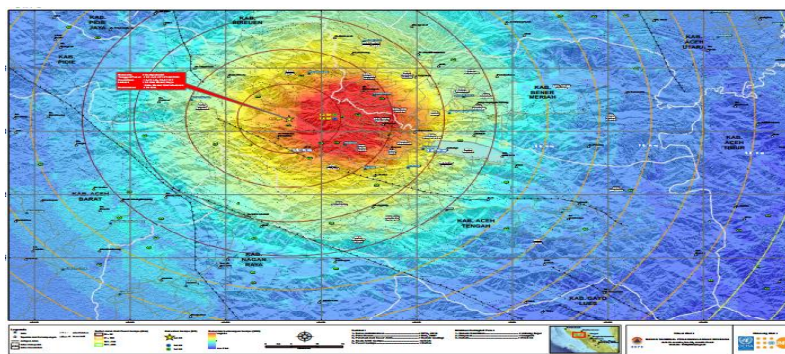
4. Peta Iseisimal

Peta isoseisimal menunjukkan daerah-daerah dengan tingkat kerusakan yang serupa, yang dihubungkan melalui garis isoseisimal (Dilalos and Alexopoulos 2021). Peta ini mengindikasikan bahwa intensitas gempa tertinggi (IX MMI) terletak di sekitar episenter, sementara intensitas gempa semakin menurun seiring bertambahnya jarak dari pusat gempa (Alexopoulos et al. 2023). Daerah seperti Kecamatan Ketol dan Timang Gajah di Aceh Tengah, serta daerah sekitar Bener Meriah, mengalami dampak guncangan yang lebih kuat. Peta isoseisimal skala MMI untuk gempa Aceh pada 2 Juli 2013 yang diterbitkan oleh USGS

dan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

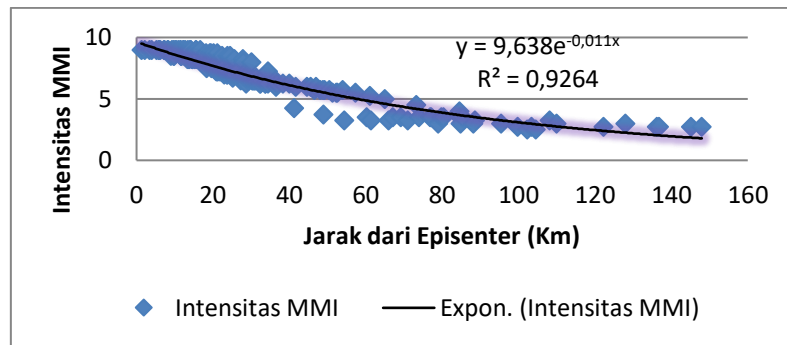


Gambar 4.2 Peta Isoseismal Gempa Aceh 2 Juli 2013 Yang dikeluarkan Oleh USGS
(Sumber : <http://earthquake.usgs.gov> diakses tanggal 6 Juli 2014, 15:30 WIB)



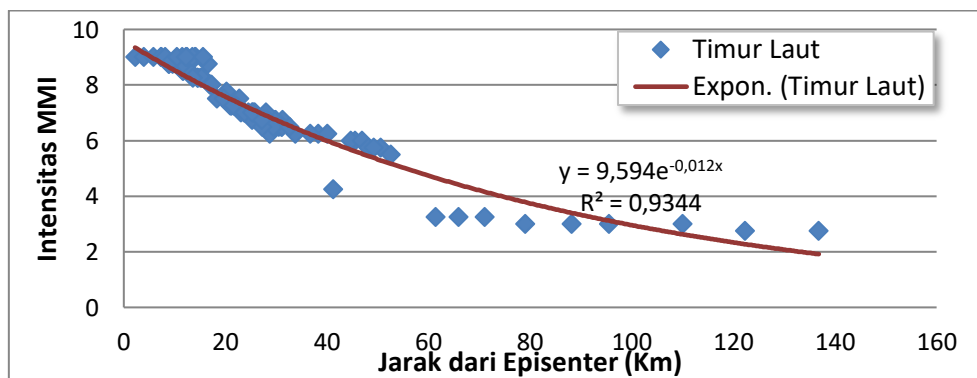
Gambar 4.3 Peta Guncangan Gempabumi (Skala MMI) di Kab. Aceh Tengah, Prov. Aceh
(Sumber : <http://geospasial.bnpb.go.id> diakses tanggal 6 Juli 2014, 15:30 WIB)

Berdasarkan Gambar 5.13 dan Gambar 5.14, peta isoseismal menunjukkan bentuk yang hampir simetris dan menyerupai lingkaran, yang mirip dengan hasil penelitian yang ditampilkan pada Gambar 5.10. Namun terdapat perbedaan pada skala intensitas maksimum MMI antara peta ketiga isoseismal tersebut. Penelitian ini menghasilkan intensitas maksimum IX MMI, sedangkan peta yang diterbitkan oleh USGS menunjukkan VI MMI dan peta BNPB menunjukkan VIII MMI. Perbedaan ini muncul karena jenis data yang digunakan. USGS menggunakan data dari survei cepat melalui internet, sementara peta BNPB didasarkan pada data getaran gempa yang memiliki keterbatasan dalam penjelasannya (Daiana et al. 2021). Di sisi lain, penelitian ini menggunakan data hasil observasi lapangan langsung yang mencakup respon masyarakat, objek, lingkungan, dan bangunan, sehingga menghasilkan intensitas maksimum IX MMI.

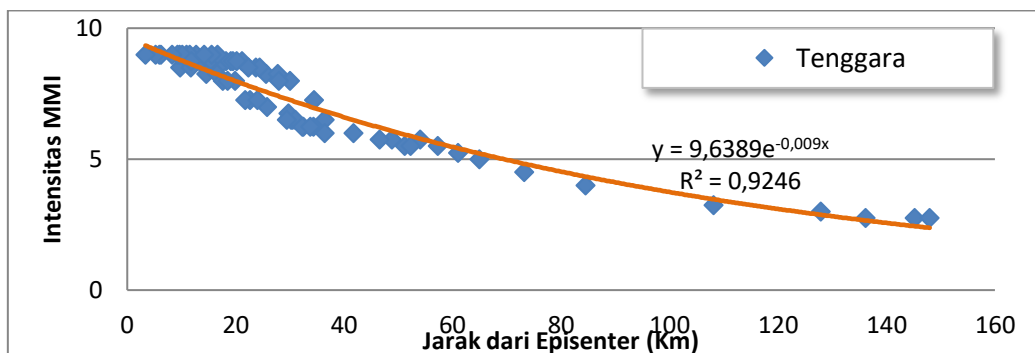


Gambar 4.4. Hubungan Intensitas dan Jarak Untuk Gempabumi Aceh 2 Juli 2013
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

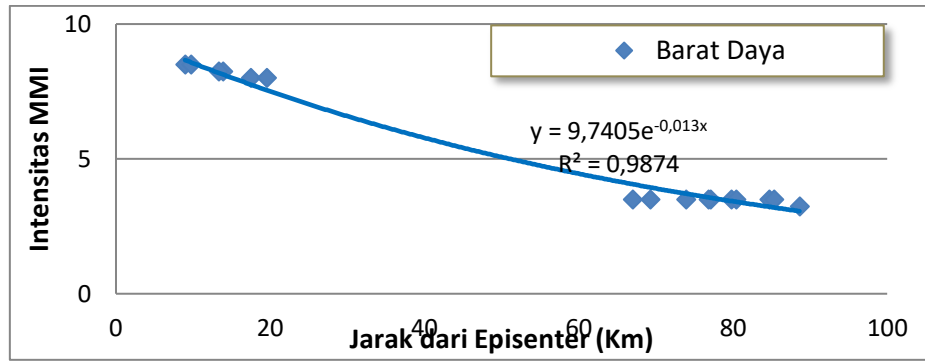
Hasil perhitungan regresi eksponensial yang dilakukan menggunakan software MS Excel menghasilkan persamaan eksponensial $I_x = 9.638 e^{-0.01138x}$ setelah data dianalisis. Untuk memahami hubungan antara intensitas gempa dan jarak di berbagai arah, seperti Timur Laut, Tenggara, Barat Daya, dan Barat Laut, dapat dilihat pada Gambar 4.4 hingga Gambar 4.5.



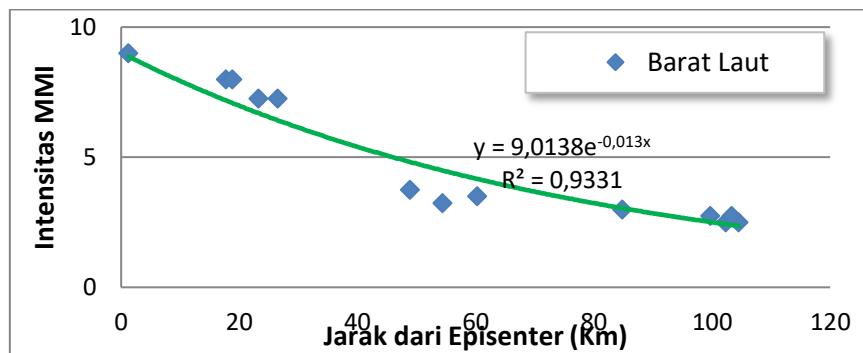
Gambar 4.5 Hubungan Intensitas dan Jarak Untuk Arah Timur Laut
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)



Gambar 4.7 Hubungan Intensitas dan Jarak Arah Tenggara
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

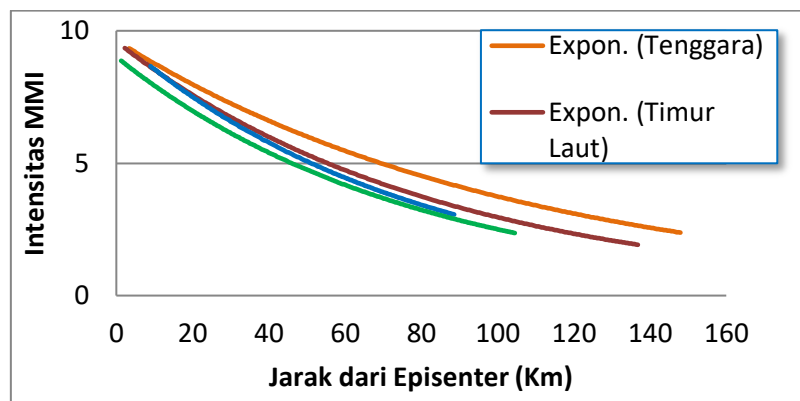


Gambar 4.8 Hubungan Intensitas dan Jarak Arah Barat Daya
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)



Gambar 4.9 Korelasi antara Intensitas dan Jarak di Arah Barat Laut
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

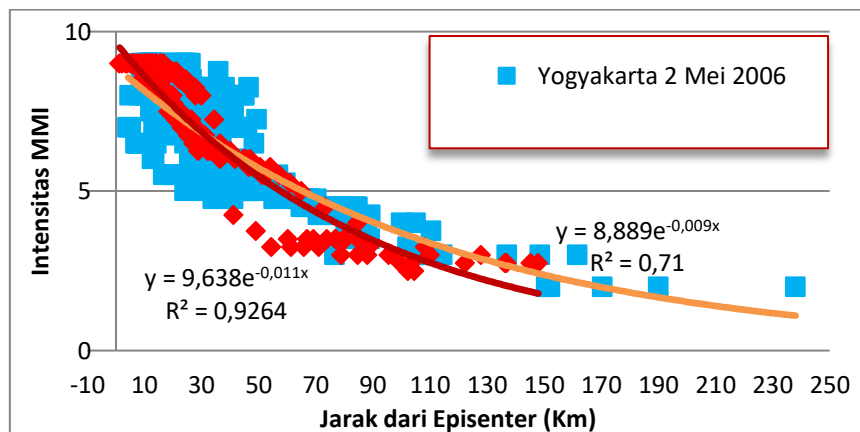
Hasil Atenuasi untuk arah Timur Laut adalah $y = 9.594e^{-0.012x}$, arah tenggara $y = 9.6389 e^{-0.009x}$, arah barat daya $y = 9.7405 e^{-0.013x}$, dan arah barat laut $y = 9.0138 e^{-0.013x}$. perbandingan antara atenuasi berdasarkan arah timur laut, tenggara, Barat daya dan barat laut disajikan dalam Gambar 4.10



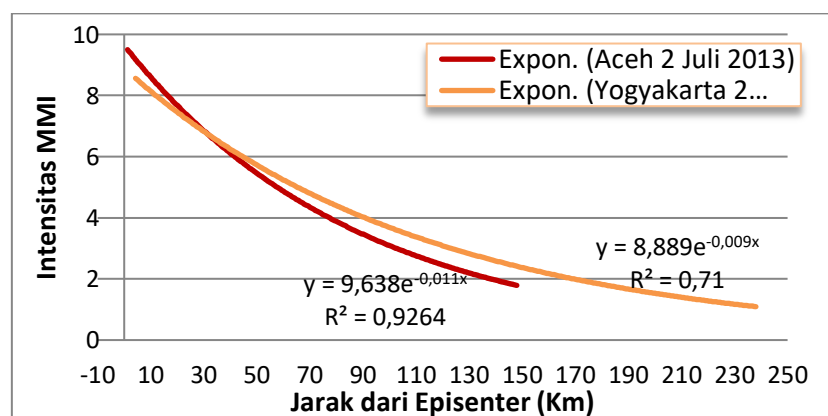
Gambar 5.20 Perbandingan Atenuasi Arah Timur Laut, Arah Tenggara, Arah Barat Daya dan Barat Laut. (Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan Gambar 4.11 menunjukkan bahwa atenuasi untuk ke empat arah yaitu arah timur laut, arah tenggara, arah barat daya dan arah barat laut berbeda-beda namun memiliki pola penurunan atenuasi yang sama.

Distribusi intensitas gempa pada Aceh 2 Juli 2013 dan Yogyakarta 27 Mei 2006 dapat dilihat pada Gambar 5.21. Tampak bahwa distribusi intensitas gempa di Yogyakarta 2006 lebih padat dibandingkan dengan gempa Aceh 2013, yang disebabkan oleh kepadatan penduduk Yogyakarta yang lebih tinggi. Persamaan atenuasi antara intensitas dan jarak untuk kedua gempa, seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.22, menunjukkan bahwa intensitas gempa Aceh 2013 lebih bersinar di sekitar episenter dibandingkan dengan gempa Yogyakarta 2006. Dengan kata lain, semakin besar magnitudo gempa, semakin tinggi intensitas yang dirasakan di sekitar episenter, dan semakin jauh radius getaran yang diukur. Misalnya gempa Yogyakarta 2006 dengan magnitudo 6,3 menghasilkan getaran yang lebih kuat dan terasa hingga radius 250 km, sementara gempa Aceh 2013 dengan magnitudo 6,1 terasa hingga radius 160 km.

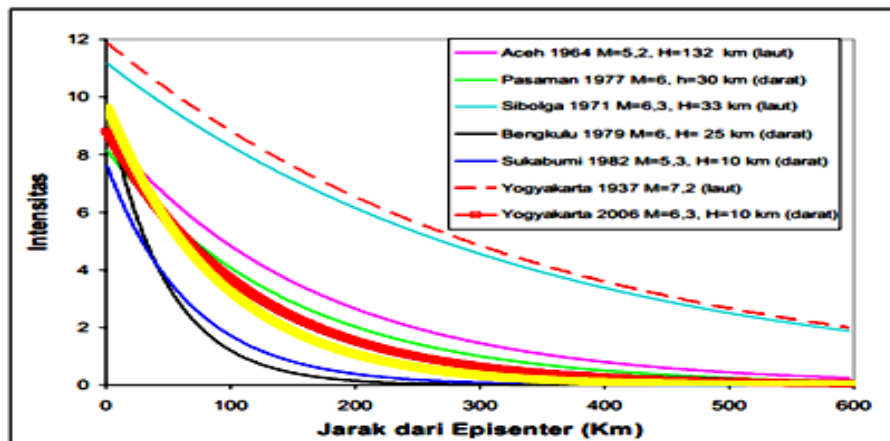


Gambar 4.12 Persebaran Sampel Intensitas Untuk gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006 (Wijaya, 2009) dan Gempabumi Aceh 2 Juli 2013 (Sumber : Hasil Pengolahan Data)



Gambar 4.13 Atenuasi Intensitas dan Jarak Untuk gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006 (Wijaya, 2009) dan Gempabumi Aceh 2 Juli 2013

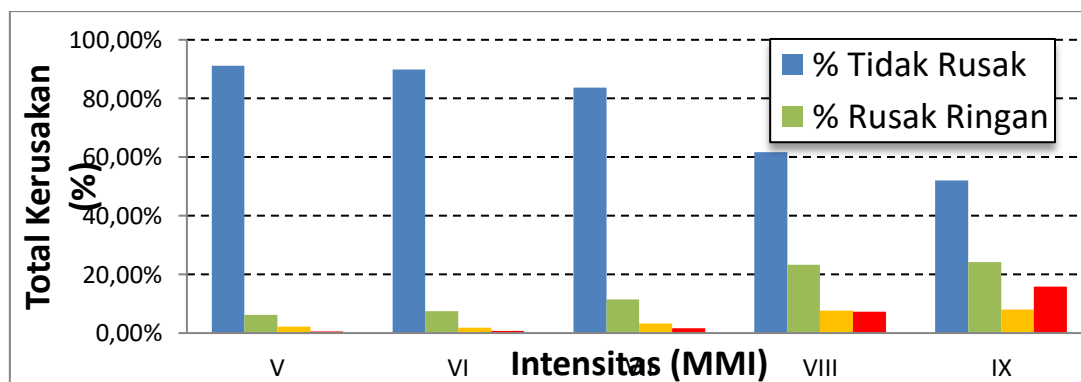
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)



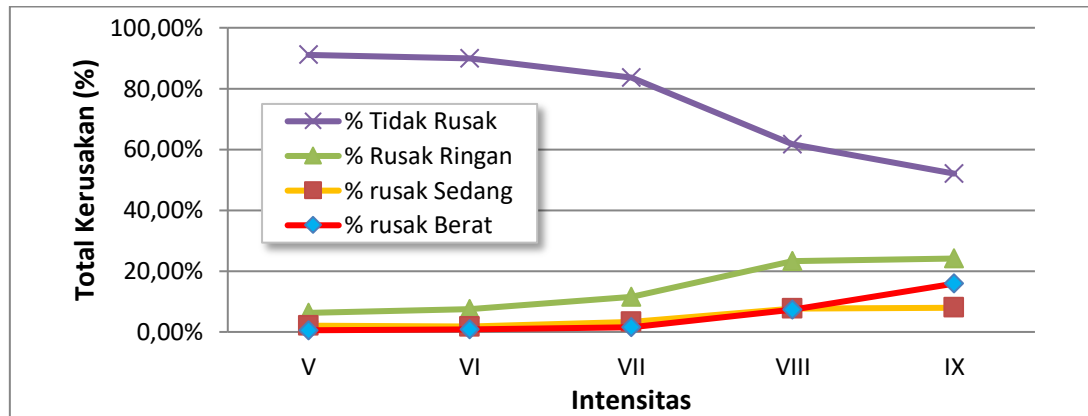
Gambar 4.13 Atenuasi Intensitas dan Jarak Untuk Beberapa Kejadian Gempabumi di Indonesia (Wijaya, 2009) dan Gempabumi Aceh 2 Juli 2013 (Sumber : Hasil Pengolahan

5. Kerentanannya Bangunan

Banyak rumah di daerah yang terdampak gempa dibangun dengan material yang tidak memenuhi standar ketahanan gempa, seperti pondasi yang lemah dan kolom yang tidak cukup kuat. Sebagian besar kerusakan terjadi pada rumah yang menggunakan batu bata atau material lain yang lebih mudah rusak akibat getaran gempa. Rumah-rumah ini mengalami kerusakan parah, dengan sebagian besar struktur bangunan roboh, terutama di daerah dengan tingkat intensitas gempa yang tinggi (Maulinda et al. 2024). Untuk menilai kerentanannya, dibuat kurva kerentanan untuk rumah tinggal berdasarkan berbagai tingkat intensitas gempa. Data mengenai kondisi rumah sebelum dan sesudah gempa diperoleh dari pemerintah Kabupaten Aceh Tengah dan Bener Meriah, yang kemudian dikirimkan berdasarkan daerah dengan tingkat intensitas gempa yang berbeda. Perhitungan dilakukan dengan membagi luas daerah berdasarkan intensitas gempa per kecamatan. Misalnya saja Kecamatan Ketol memiliki luas wilayah 622,753 km², dengan sebaran intensitas sebagai berikut: intensitas IX sebesar 52,125 km², intensitas VIII sebesar 244,380 km², intensitas VII sebesar 232,692 km², dan intensitas VI sebesar 92,24 km². Pengelompokan intensitas ini dapat dilihat pada Tabel 5.7 hingga Tabel 5.9. Berdasarkan Tabel 5.13 dan Tabel 5.14, terdapat dua kejadian gempa yang berbeda, yaitu gempa Aceh 2013 dan gempa Yogyakarta 2006, yang memiliki magnitudo hampir serupa meskipun terjadi di lokasi yang berbeda. Gempa kedua tersebut tergolong gempa dangkal, dengan kedalaman kurang dari 70 km.

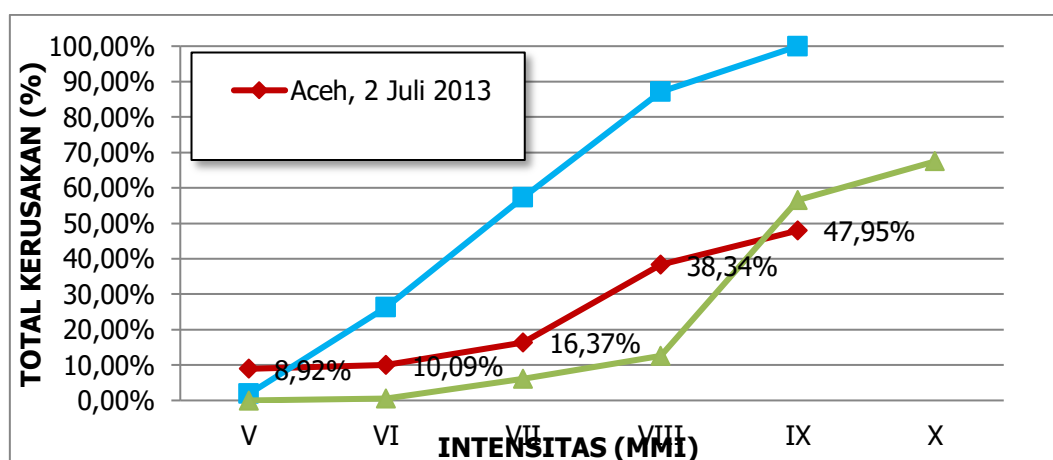


Gambar 514. Persentase Kerusakan Rumah Tinggal Berdasarkan Intensitas Gempabumi
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)



Gambar 5.25. *Vulnerability Curves*
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Berdasarkan gambar, dapat dilihat bahwa di wilayah dengan intensitas gempa antara V hingga VII MMI, sebagian besar rumah tidak mengalami kerusakan, dengan persentase berkisar antara 83,63% hingga 91,08%. Sisanya mengalami kerusakan ringan, sedang, dan kerusakan berat/robok. Di wilayah dengan intensitas VIII, kategori rumah yang tidak rusak masih mendominasi sebesar 61,66%, diikuti oleh kerusakan ringan 23,17%, kerusakan sedang 7,73%, dan kerusakan berat/robok 7,34%. Di wilayah dengan intensitas tertinggi IX MMI, rumah yang tidak rusak tetap mendominasi sebesar 52,05%, sementara kerusakan ringan mencapai 24,13%, kerusakan sedang 7,94%, dan kerusakan berat/robok 15,88%. Untuk gempa Aceh pada 2 Juli 2013, banyaknya rumah yang tidak rusak mungkin disebabkan oleh struktur bangunan yang sebagian besar terbuat dari kayu, yang cenderung lebih tahan terhadap getaran gempa. Gambar 5.26 di bawah ini menggambarkan kerentanan bangunan rumah tinggal pada kasus gempa Aceh 2013 dibandingkan dengan beberapa kasus gempa lainnya.



Gambar 5.26. Hubungan Intensitas dan Persentase Total Kerusakan Pada kasus Gempabumi Aceh 2013, gempa Yogyakarta 2006 (Wijaya 2009), dan Gempa Izmit 1999 (Ozmen 2000).
(Sumber : Hasil Pengolahan Data)

Atenuasi mengacu pada penurunan intensitas getaran seiring dengan meningkatnya jarak dari episenter. Berdasarkan data yang diperoleh, ditemukan bahwa intensitas gempa menurun secara eksponensial seiring bertambahnya jarak. Persamaan atenuasi yang ditemukan adalah $I_x = 9.638 e^{(-0.011x)}$, yang mengindikasikan bahwa semakin jauh suatu lokasi dari episenter, semakin rendah intensitas gempa yang dirasakan. Pola ini terlihat konsisten di semua arah, termasuk timur laut, tenggara, barat daya, dan barat laut.

7. Perbandingan dengan Gempabumi Yogyakarta 2006

Gempabumi Aceh 2013 dibandingkan dengan gempabumi Yogyakarta 2006 menunjukkan bahwa meskipun keduanya memiliki magnitudo yang hampir sama (6,1 Mw untuk Aceh dan 6,3 Mw untuk Yogyakarta), persebaran intensitas pada gempa Aceh lebih terkonsentrasi di sekitar episenter. Gempabumi Yogyakarta 2006 memiliki radius getaran yang lebih luas (hingga 250 km), sementara gempabumi Aceh hanya terasa hingga 160 km dari episenter. Hal ini dipengaruhi oleh faktor geologi dan kedalaman episenter yang berbeda.

5. DISKUSI

1. Pusat Gempa dan Magnitudo

Gempabumi yang terjadi pada tanggal 2 Juli 2013 memiliki pusat di koordinat 4.698° LU, 96.687° BT dengan magnitudo 6,1 Mw padadengan magnitudo 6,1 Mw pada kedalaman 10 km. Gempabumi dangkal seperti ini (kedalaman < 70 km) memiliki potensi dampak yang jauh lebih besar dibandingkan dengan gempa dengan kedalaman lebih dalam. Hal ini disebabkan oleh gelombang seismik yang lebih kuat karena jaraknya yang lebih pendek menuju permukaan bumi. Menggunakan persamaan Gutenberg dan Richter, hasil perhitungan untuk intensitas maksimum (I_0) adalah 8,4, yang sesuai dengan IX MMI, menunjukkan gempa ini termasuk dalam kategori kerusakan parah. Berdasarkan perhitungan ini, dapat disimpulkan bahwa Aceh Tengah dan Bdan Bener Meriah pusat gempa, merasakan dampak, yang berada dekat dengan pusat gempa, merasakan dampak yang sangat kuat, dengan banyak bangunan rusak total, dan bahkan terjadi longsor tanah di beberapa titik.

2. Skala Intensitas dan Respon

Berdasarkan pengukuran Modified Mercalli Intensity (MMI) yang digunakan dalam penelitian ini, terdapat empat kategori respons yang diukur:

- a. Respon Orang: Pada intensitas IX MMI, hampir seluruh responden merasakan getaran gempa dengan sangat kuat. Beberapa di antaranya bahkan mengalami panik dan berlari keluar rumah untuk mencari tempat yang lebih aman. Hal ini menandakan bahwa dampak psikologis gempa bumi yang kuat berdampak besar pada masyarakat yang tinggal di daerah terdampak.
- b. Respon Objek: Banyak objek berat di dalam rumah, seperti meja, kursi, dan lemari, jatuhnya dan rusak akibat getaran yang kuat. Bahkan peralatan rumah tangga yang lebih besar, seperti kulkas dan televisi, dapat berpindah atau jatuh dari tempatnya. Ini menggambarkan seberapa kuat dampak fisik yang diterima oleh objek di dalam rumah.

- c. Respon Lingkungan: Banyak pohon di sekitar episenter tumbang, serta longsor tanah yang terjadi di daerah pegunungan seperti Kecamatan Ketol . Longsor ini merusak infrastruktur penting seperti jalan raya dan jembatan, mengisolasi beberapa desa dari dunia luar. Selain itu, keretakan tanah juga terjadi, menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan dan rumah yang ada di sekitarnya.
- d. Respon Bangunan: Kerusakan bangunan menjadi salah satu aspek yang paling mencolok. Pada intensitas IX MMI , banyak rumah mengalami kerusakan berat , dengan beberapa di antaranya roboh sepenuhnya . Bangunan yang menggunakan material yang lemah dan konstruksi yang tidak sesuai standar rentan terhadap guncangan gempa. Hal ini sangat terlihat di daerah seperti Serempah , di mana banyak rumah yang dibangun dengan material batu bata dan kayu tanpa memperhitungkan ketahanan terhadap gempa.

3. Distribusi Kerusakan Bangunan

Kerusakan bangunan sangat dipengaruhi oleh jarak dari episenter . Di Kecamatan Ketol dan Bener Meriah , yang terletak dekat dengan pusat gempa, kerusakan bangunan sangat parah. Banyak rumah dan bangunan lainnya roboh sepenuhnya , sementara beberapa di antaranya mengalami kerusakan struktural yang sangat berat . Di daerah ini, lebih dari 60% bangunan dilaporkan rusak atau hancur, sebagian besar karena konstruksi yang tidak tahan terhadap gempa dan kurangnya pengawasan dalam pembangunan rumah. Sebaliknya, di daerah yang lebih jauh dari episenter, seperti Kecamatan Bintang dan Laut Tawar , kerusakan yang terjadi lebih ringan. Hanya sebagian kecil rumah yang mengalami retakan pada dinding dan sedikit kerusakan pada plafon . Namun demikian, getaran gempa masih dirasakan cukup kuat, meski tidak menyebabkan kerusakan signifikan.

4. Peta Isoleismal

Peta isoseismal yang dibuat berdasarkan hasil observasi menunjukkan sebaran intensitas gempa yang terdistribusi secara radikal. Peta ini menggambarkan daerah yang paling terkena dampak gempa (dengan IX MMI) terletak di sekitar episenter, seperti Kecamatan Ketol dan Timang Gajah , yang mengalami kerusakan berat . Sementara daerah yang lebih jauh, seperti Kecamatan Bintang , menunjukkan penurunan intensitas menjadi V MMI hingga VI MMI , dengan kerusakan yang lebih sedikit. Peta ini sangat berguna dalam merencanakan upaya pemulihan dan penanggulangan bencana , karena menunjukkan dengan jelas daerah yang paling terdampak dan memerlukan perhatian lebih untuk pemulihan infrastruktur dan kehidupan masyarakat. Misalnya, wilayah yang berstatus IX MMI memerlukan pembangunan kembali yang mendesak, sementara wilayah dengan VI MMI mungkin hanya memerlukan perbaikan ringan.

5. Kerentanannya Bangunan

Salah satu temuan penting dalam penelitian ini adalah bahwa banyak bangunan yang mengalami kerusakan parah disebabkan oleh kerentanannya bangunan itu sendiri. Di daerah dengan intensitas tinggi seperti Kecamatan Ketol dan Bener Meriah , banyak rumah yang dibangun dengan material yang tidak memadai , seperti batako dan kayupun , serta pondasi yang tidak kuat . Rumah yang dibangun tanpa menjelaskan struktur gempa sangat rentan terhadap kerusakan akibat guncangan. Rumah-rumah dengan kolom yang lemah dan pondasi yang dangkal cenderung mengalami kerusakan struktural yang parah, bahkan roboh sepenuhnya . Penelitian ini menyoroti perlunya peningkatan kualitas konstruksi bangunan , terutama di wilayah yang rawan gempa, serta pendidikan kepada masyarakat tentang cara membangun rumah yang lebih tahan gempa. Atenuasi gempa merupakan penurunan intensitas

seiring dengan bertambahnya jarak dari episenter . Dalam penelitian ini, persamaan yang ditemukan adalah $I_x = 9.638 e^{(-0.011x)}$, yang menunjukkan bahwa intensitas berkurang secara eksponensial seiring dengan pertambahan jarak. Misalnya, di daerah yang sangat dekat dengan pusat gempa, seperti Kecamatan Ketol , intensitas gempa mencapai IX MMI , sedangkan di daerah yang lebih jauh, seperti Kecamatan Bintang , intensitasnya berkurang menjadi V MMI atau bahkan lebih rendah. Ini membuktikan bahwa semakin jauh jarak dari episenter, semakin kecil kerusakan yang terjadi pada bangunan dan infrastruktur. Faktor atenuasi ini sangat penting untuk merencanakan pemulihan pascagempa , karena daerah dengan intensitas rendah mungkin tidak memerlukan banyak perbaikan.

7. Dibandingkan dengan Gempabumi Yogyakarta 2006

Perbandingan antara gempa Aceh 2013 dan gempa Yogyakarta 2006 menunjukkan bahwa kedua gempa memiliki magnitudo yang hampir sama (6,1 Mw untuk Aceh dan 6,3 Mw untuk Yogyakarta), sebaran intensitas pada gempa Aceh lebih memancarkan cahaya di sekitar episenter. Gempa Yogyakarta , yang memiliki kedalaman episenter lebih besar dan berbeda dalam karakteristik geologi, dirasakan hingga radius 250 km , sedangkan gempa Aceh hanya terasa hingga 160 km . Hal ini disebabkan oleh kedalaman episenter yang lebih dangkal pada gempa Aceh dan karakteristik geologi yang mempengaruhi besarnya energi seismik. Gempa yang terjadi di daerah yang lebih bergunung dan memiliki tanah labil, seperti Aceh, dapat melepaskan dampak gempa, dengan menyebabkan longsor dan kerusakan geologi yang lebih parah.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan temuan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa peta isoseismal gempa Aceh 2 Juli 2013 memiliki bentuk yang hampir simetris dan menyerupai lingkaran, dengan distribusi kerusakan bangunan dan respon terhadap gempa yang merata secara radial dari episenter. Intensitas gempa cenderung menurun seiring dengan meningkatnya jarak dari episenter, di wilayah mana dengan intensitas IX MMI mengalami kerusakan yang sangat parah. Kerusakan yang terjadi di wilayah dengan intensitas lebih rendah (V-VII MMI) sebagian besar tergolong ringan, sementara rumah-rumah yang terbuat dari kayu lebih tahan terhadap getaran gempa dibandingkan dengan rumah yang dibangun menggunakan batu bata. Hubungan antara intensitas dan jarak mengikuti pola eksponensial, yang mengindikasikan bahwa semakin jauh jarak dari episenter, semakin kecil intensitas gempa yang dirasakan. Pemerintah daerah melalui BPBD telah melakukan rekonstruksi rumah dengan menggunakan struktur kayu yang lebih tahan terhadap gempa. Rasio kerusakan yang ditemukan juga menunjukkan bahwa rumah kayu mengalami kerusakan yang lebih kecil dibandingkan dengan rumah yang dibangun menggunakan batu bata, yang lebih rentan terhadap kerusakan. Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa meskipun banyak rumah yang tidak rusak, terdapat hubungan positif antara tingkat intensitas gempa dan kerusakan yang terjadi pada bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexopoulos, John D., Spyridon Dilalos, Ioannis Konstantinos Giannopoulos, Christos Filis, Emmanuel Vassilakis, and Nikolaos Voulgaris. 2023. "The Combination of Updated Geotechnical, Seismotectonic and Isoseismal Maps of the Ionian Islands (Greece)." *Geosciences (Switzerland)* 13(7):218.
- Ambarsari, Riana, . Madlazim, and Utama Alan Deta. 2021. "Pencitraan Rupture Gempabumi Di Lombok Timur Mw 6,9 Pada 19 Agustus 2018 Dengan Metode Back Projection." *Inovasi Fisika Indonesia* 10(3):24–32.
- Azmiyati, Uzlifatul. 2021. "Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Akibat Gempabumi Di Wilayah Nusa Tenggara Dengan Metode Probablistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)." *JISIP (Jurnal Ilmu Sosial Dan Pendidikan)* 5(1).
- Daiana, Selly Tri, Nurhidayah, and Linda Handayani. 2021. "Studi B-Value Sebagai Analisis Seismisitas Berdasarkan Data Gempabumi Periode 1914-2020 (Studi Kasus : Provinsi Bengkulu)." *Jurnal Sains Dan Teknologi Mitigasi Bencana* 16(1):30–41.
- Dilalos, S., and J. D. Alexopoulos. 2021. "Some New Insights on the Correlation of Isoseismal Maps With Terrestrial and Satellite Gravity Data." *11th Congress of the Balkan Geophysical Society, BGS 2021* 1–5.
- Handayani, Itapusita, La Hamimu, Abdul Manan, and Cindy Puspitafuri. 2022. "Analisis Spektrum HVSR Untuk Pendugaan Potensi Kerusakan Akibat Gempabumi Di Daratan Pesisir Kecamatan Wangi-Wangi Selatan Kabupaten Wakatobi." *Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia* 3(03):29.
- Harahap, Ade Kurnia, Virgo E. Purba, and Edoardo David Nainggolan. 2022. "ANALISA KERUSAKAN BANGUNAN AKIBAT GEMPA (Studi Kasus Kerusakan Bank Aceh Di Kota Sigli Akibat Gempa Pada Tahun 2010)." *Jurnal Santeksipil* 2(1):1–7.
- Hidayatullah, Syarief, Darwizal Daoed, Nurhamidah Nurhamidah, and Silta Yulan Nifen. 2023. "Analisis Kerentanan Dan Rawan Banjir DAS Batang Kuranji Kota Padang." *CIVED* 10(1):110–17.
- Larasati, Nurrani-. 2022. "Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan Hvsr (Horizontal To Spectral Ratio) Dan Fsr (Floor Spectral Ratio)." *Jurnal Geosaintek* 8(1):151.
- Maharani, Ph.D, Yohana Noradika, Yody Rizkianto, and Ikhsan Ikhsan. 2024. "Analisis Kerentanan Terhadap Bahaya Gempabumi Dan Tsunami Dengan Metode Self Organizing Map Di Kabupaten Bantul." *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan* 7(2):23.
- Maulinda, Reski, Tri Kusmita, Herman Aldila, and Triani Triani. 2024. "Analisis B-Value Gempabumi Menggunakan Metode Gutenberg-Richter Berdasarkan Estimasi Maximum Likelihood Di Daerah Sulawesi Utara." *Jurnal Riset Fisika Indonesia* 4(2):75–82.
- Mukherjee, Kishore, Kumar Mauriya M. Manish, and Giridharan Natrajan. 2022. "Employee Attendance System Based on Facial Recognition." *International Journal of Health Sciences* 5054–69.
- Nadzir, Zulfikar Adlan, Nirmawana Simarmata, Lea Kristi Agustina, and Mutia Rahma Apriani. 2024. "Integrasi Pemetaan Ancaman, Kerentanan, Dan Kapasitas Dalam Kajian Risiko Gempabumi Dan Tsunami Di Pesawaran, Lampung." *Jurnal Geosaintek* 10(2):132–58.
- Putra, Rusnardi Rahmat, and Dezy Saputra. 2022. "Assessment Tingkat Kerentanan Bangunan Bertingkat Di Kampus Universitas Negeri Padang Menggunakan Gelombang Rayleigh." *Jurnal Serambi Engineering* 7(1).
- Sari, Iis Ratna, Syamsurijal Rasimeng, Haqqie Ramadhan, Ida Bagus Sunanda Yogi, and . Supardi. 2020. "Identifikasi Gempa Menggunakan Program Surfer Dan Matlab, Studi Kasus: Gempabumi Wilayah Jawa Tahun 1974-2020." *Jurnal Geosaintek* 6(3):127.

- Sari, Sendy Oktaviana, and . Madlazim. 2021. "ANALISIS DINAMIKA RUPTURE GEMPABUMI PADA 5 AGUSTUS 2018 DI LOMBOK UTARA Mw 6,9 MENGGUNAKAN METODE MUSICBP." *Inovasi Fisika Indonesia* 10(3):33–38.
- Wibowo, Nugroho Budi, Thaقيبul Fikri Niyartama, Andi Andi, Rena Septiana, Erlina Widianingrum, Ahdian Azri Bustari, and Iktifal Ajie Arif. 2024. "Pemodelan Peak Ground Accleration (PGA) Dan Intensitas Gempabumi Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Pada Kawasan Longsor Di Desa Kalongan, Ungaran Timur." *Jurnal Fisika Unand* 13(2):225–33.