

ANALISA MAKROSEISMIK DAN MIKROSEISMIK GEMPA BUMI BATANG M4.4 7 JULI 2024

MACROSEISMIC AND MICROSEISMIC ANALYSIS OF M4.4 BATANG EARTHQUAKE, July 7, 2024

Nugroho Budi Wibowo^{1,3*}, Yusuf Hadi Pedana¹, Setyoajie Prayoedhie^{1,3}, Hery Susanto Wibowo^{2,3},
Budiarta^{1,3}, Akhmad Fauzi¹, Widi Harisandi², Dhian Budi Wicaksono², Muh. Mahfud Muqoddas²

¹BMKG, Stasiun Geofisika Sleman, Yogyakarta

Jalan Wates Km 8 Jitengan, Balecat, Gamping, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

*Email corresponding: nugroho.wibowo@bmgk.go.id

²BMKG, Stasiun Geofisika Banjarnegara, Jawa Tengah, Indonesia

³Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

How to cite [Cara sitasi]: N. B. Wibowo, Y. H. Perdana, S. Prayoedhi, H. S. Wibowo, Budiarta, A. Fauzi, W. Harisandi, D. B. Wicaksono and M. M. Muqoddas, "Analisa Makroseismik dan Mikroiseismik Gempa Bumi Batang M4.4 7 Juli 2024," *Kurvatek*, vol. 9, no. 2, pp. 135-142, 2024. doi: [10.33579/krvtk.v9i1.5056](https://doi.org/10.33579/krvtk.v9i1.5056) [Online].

Abstrak — Gempabumi Batang pada tanggal 7 Juli 2024 dengan kekuatan M4,4 menimbulkan kerusakan bangunan dengan kategori ringan hingga berat pada Kecamatan Batang, Warungasem dan Wonotunggal, Kabupaten Batang, Provinsi Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan melakukan analisa makroseismik dan mikroiseismik pada zona terdampak gempa bumi. Analisa makroseismik dilakukan dengan menilai tingkat kerusakan bangunan dalam skala intensitas MMI, sedangkan analisa mikroiseismik berdasarkan parameter frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0) dan geologi lokal. Hasil analisa makroseismik menunjukkan gempa bumi Batang memiliki intensitas III-IV MMI. Tingkat kerusakan bangunan ringan hingga berat yang terjadi tidak memberikan kontribusi pada nilai intensitas gempa bumi (MMI). Kondisi tersebut dikarenakan bangunan yang mengalami kerusakan merupakan bangunan dengan konstruksi sederhana dan tidak tahan gempa. Hasil analisa mikroiseismik distribusi kerusakan dominan berada pada Dataran Alluvial dengan nilai $f_0 < 3,4$ Hz dan $A_0 > 4,8$. Selain faktor kualitas bangunan, kondisi geologi lokal merupakan faktor yang mempengaruhi dampak gempa bumi dipermukaan.

Kata kunci: Makroseismik, Mikroiseismik, Gempa Bumi, MMI, Batang

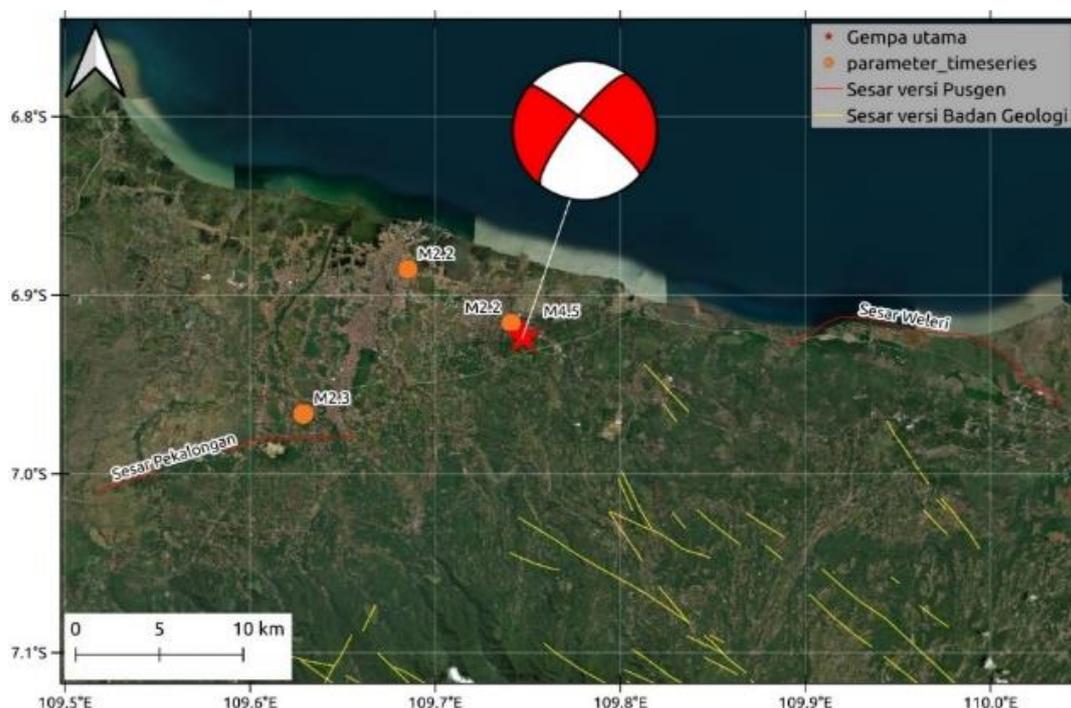
Abstract — On July 7, 2024, an M4.4 earthquake affected Batang, Warungasem, and Wonotunggal sub-districts, causing minor to major damage to houses. This study intends to conduct macroseismic and microseismic studies in the earthquake-affected zone. Macroscopic analysis involves determining the amount of building damage on the MMI intensity scale, whereas microseismic analysis relies on dominant frequency characteristics (f_0), amplification factor (A_0), and local geology. Macroscopic study indicates that the Batang earthquake had an intensity of III-IV MMI. The amount of light-to-heavy building damage does not affect the earthquake intensity (MMI) number. This is because the destroyed structures were constructed in a simplistic manner and were not earthquake-resistant. Microseismic investigation revealed that the Alluvium Plain had the dominating distribution of damage, with f_0 values < 3.4 Hz and $A_0 > 4.8$. Aside from building quality, local geological variables have an impact on earthquakes on the surface.

Keywords: Macroscopic, Microseismic, Earthquake, MMI, Batang

I. PENDAHULUAN

Gempa tektonik dengan magnitudo M4,4 terjadi pada Minggu, 7 Juli 2024 pukul 14:35:24 WIB di darat, yakni di 5 km timur laut Kab. Batang, Jawa Tengah. Pusat gempa terletak pada $6,87^\circ$ LS dan $109,75^\circ$ BT. Data intensitas guncangan yang dihimpun oleh BMKG menunjukkan bahwa gempa dirasakan II MMI di Kendal, III MMI di Batang dan Pekalongan. Hingga 8 Juli 2024 tercatat gempa susulan terjadi sebanyak tiga kali, yakni M2,2 pada 7 Juli 2024 15:36:00 WIB, M2,3 pada 7 Juli 2024 18:28:54 WIB, dan M2,2 pada 8 Juli 2024 15:56:11 WIB (**Gambar 1**). Memperhatikan posisi pusat gempa dan kedalaman, maka gempa yang terjadi merupakan jenis dangkal yang dipicu oleh aktivitas sesar aktif. Analisis mekanisme sumber yang dilakukan oleh BMKG (**Gambar 1**) menunjukkan bahwa

gempa terjadi dengan mekanisme penyesaran geser (*strike slip*). Parameter bidang sesar yang didapatkan antara lain nodal 1 : strike $310,3^\circ$, dip $80,2^\circ$, rake $-161,9^\circ$ dan nodal 2 : strike $217,1^\circ$, dip $72,2^\circ$, rake $10,3^\circ$. Berdasarkan parameter yang dihasilkan, gempa ini tidak memenuhi kriteria sebagai gempa pembangkit tsunami. Irsyam dkk (2017) telah mendefinisikan dua sesar yang berada di dekat pusat gempa, yaitu sesar Pekalongan di sebelah barat, dan sesar Weleri di sebelah timur [1]. Namun, sudut strike dari mekanisme sumber yang didapatkan berbeda dengan orientasi sesar Pekalongan dan sesar Weleri. Condon dkk (1996) melalui peta geologi lembar Banjarnegara dan Pekalongan mendefinisikan segmen-segmen sesar yang dominan berorientasi Barat Laut – Tenggara. Segmen-segmen tersebut juga tidak menggambarkan adanya kelurusan yang bertepatan dengan titik pusat gempa utama [2]. Segmen-segmen sesar tersebut merupakan bagian dari struktur regional yang dinamakan struktur Sakala oleh Sribudiyani dkk (2003). Struktur tersebut telah berkembang sejak pembentukan Jawa bagian timur [3]. Informasi dampak gempa awal yang dihimpun dari BPBD Kabupaten Batang menunjukkan bahwa gempa menimbulkan kerusakan perumahan dan fasilitas umum di Kecamatan Batang, Warungasem dan Wonotunggal [4]. BPBD Kab Batang melaporkan terdapat 13 korban luka dan tidak terdapat korban jiwa.

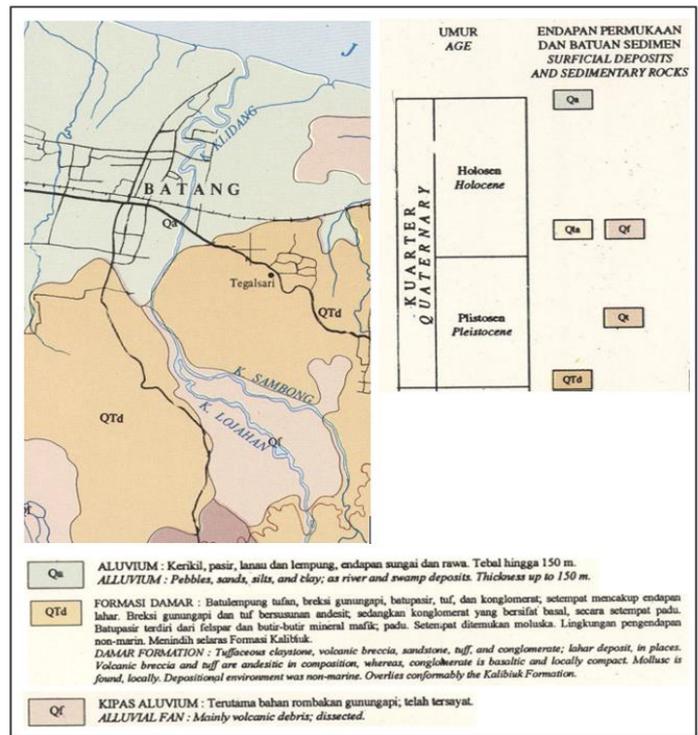


Gambar 1. Peta episentris gempa bumi Batang periode 7-8 Juli 2024. Simbol bintang (merah) episenter gempa utama M4,4 7Juli2024 dan simbol titik (orange) gempa susulan [5].

Dampak gempa bumi Batang perlu dianalisa untuk mengetahui distribusi kerusakan bangunan dan pengaruh kondisi geologi terhadap perambatan gelombang seismik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian makroseismik dan mikroseismik pada area terdampak gempa bumi tersebut.

A. Geologi Regional Kabupaten Batang

Kabupaten Batang secara geologi terdiri atas dataran Aluvium (Qa), Kipas Aluvium (Qf) dan Formasi Damar (QTd) (**Gambar 2**). Qa dan Qf berumur Kuartar dengan kala Holosen dan QTd berumur Kuartar dengan kala Plestosen. Kota Batang yang dilalui Sungai Klidang dominan berada pada Qa yang tersusun atas material kerikil, pasir, lanau, lempung, endapan sungai dan rawa. Material penyusun tersebut merupakan material sedimen yang belum terkonsolidasi [2]. Formasi QTd dan Qf terdapat pada bagian Selatan Kota Batang. Formasi QTd tersusun atas batulempung tufan, breksi gunungapi, batupasir, tuf dan konglomerat. Formasi QTd memiliki material penyusun yang lebih kompak dibandingkan dengan dataran Qa. Formasi Qf tersusun atas material rombakan gunungapi. Kondisi topografi pada Kabupaten Batang bervariasi antara 0 - 101mdpl dengan kategori datar hingga bergelombang. Topografi datar dominan berada pada dataran aluvium di Kota Batang.



Gambar 2. Peta geologi regional Kabupaten Batang [2]

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada kecamatan yang terdampak gempa bumi di Kabupaten Batang, yaitu: Kecamatan Batang, Warungasem dan Wonotunggal. Identifikasi kerusakan bangunan dilakukan dengan kegiatan survei makroseismik dan analisa mikroseismik menggunakan survei mikrotremor. Survei makroseismik dilakukan dengan mengkuantifikasi tingkat kerusakan bangunan dalam skala intensitas MMI. Kegiatan survei makroseismik dilakukan oleh tim BMKG dan BPBD Kab. Batang. Survei mikrotremor menggunakan digital portable seismograph TAURUS pada 13 titik pengukuran dan peralatan pendukung seperti kompas geologi, GPS dan laptop (Gambar 3). Standar operasional pengukuran data mikrotremor berdasarkan pada SESAME European research project dengan durasi pengukuran 30 menit untuk setiap titiknya [6].



Gambar 3. Pengukuran mikrotremor menggunakan digital portabel seismograph di Perumahan Kalisalak

Analisa Makroseismik dan Mikroseismik Gempa Bumi Batang M4.4 7 Juli 2024 (N. B. Wibowo, Y. H. Perdana, S. Prayoadhi, H. S. Wibowo, Budiarta, A. Fauzi, W. Harisandi, D. B. Wicaksono and M. M. Muqoddas)

A. Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah dengan amplitudo perpindahan 0,1 hingga 1 μm dan 0,001 hingga 0,01 cm/s untuk amplitudo kecepatan [7]. Spektra mikrotremor komponen horizontal dan vertikal dibandingkan dengan menggunakan metode *HVSR*. Menurut Nakamura (Nakamura, 1989), fungsi transfer situs gelombang geser dan spektrum *H/V* sebagai fungsi frekuensi sangat terhubung. Rasio *H/V* pada *ambient noise* berhubungan erat dengan frekuensi yang terdeteksi di lapangan, seperti yang ditunjukkan oleh Nakamura [8]. Nakamura memperoleh data yang menunjukkan bahwa nilai tertinggi dari rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertikal di stasiun yang terletak di daerah batuan keras mendekati nilai 1. Maksimum *H/V* untuk stasiun yang terletak di batuan lunak lebih besar dari satu. Sumber gelombang permukaan non-alami cenderung menyebabkan gelombang Rayleigh merambat melalui lapisan tanah atau lanau lunak [7]. Gelombang *Rayleigh* mempengaruhi komponen horizontal dan vertikal permukaan tetapi tidak berpengaruh pada komponen gelombang di batuan dasar [9]. Nakamura menyatakan bahwa terdapat dua komponen horizontal yang diukur pada arah *N-S* dan *W-E* pada bidang pengamatan. Persamaan *HVSR* dituliskan sebagai berikut:

$$HVSR = \frac{\sqrt{(A_{(N-S)}(f))^2 + (A_{(W-E)}(f))^2}}{(A_{(V)}(f))} \quad (1)$$

dimana:

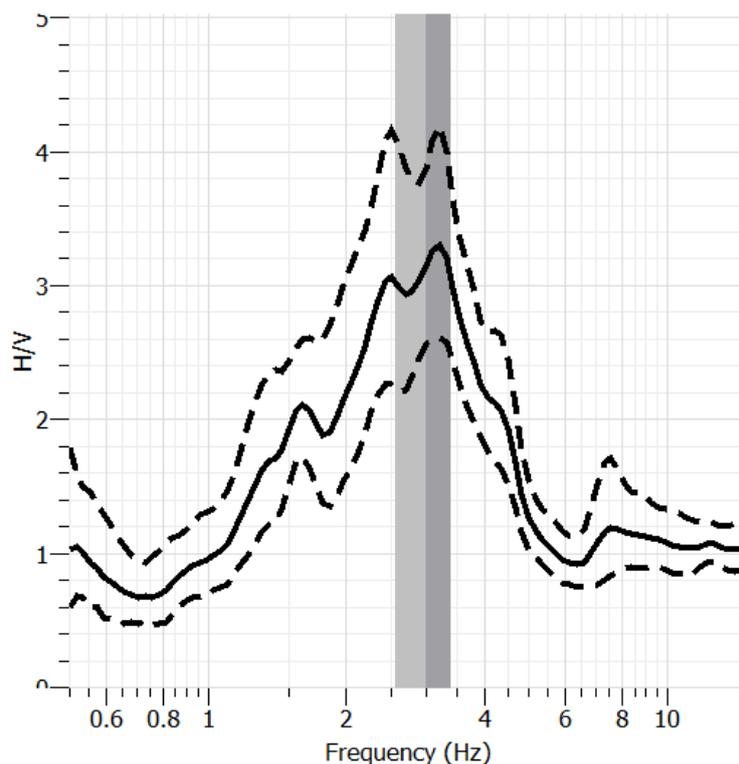
HVSR = Horizontal to Vertical Ratio

$A_{(N-S)}(f)$ = Nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen North-South

$A_{(W-E)}(f)$ = Nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen West-East

$(A_{(V)}(f))$ = Nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen vertical

Kurva *H/V* yang dihasilkan dari persamaan *HVSR* seperti pada Gambar 4 berikut [10].



Gambar 4. Kurva *H/V*, garis hitam merupakan nilai rerata *H/V* dan garis putus-putus merupakan standar deviasi. Puncak dari garis hitam merupakan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0)

B. Intensitas Gempa Bumi

Intensitas merupakan besaran yang dipakai untuk mengukur suatu gempa selain magnitudo. Intensitas gempa bumi dinyatakan dalam skala Mercally atau MMI (*Modified Mercally Intensity*) (**Tabel 1**). Skala intensitas gempa bumi MMI sangat subjektif dan bergantung pada kondisi lokasi dimana gempa bumi terjadi. Gempa bumi dengan kekuatan sama tetapi terjadi pada dua lokasi yang berbeda, akan memberikan nilai intensitas yang berbeda pula [11].

Tabel 1. Skala Intensitas Gempa Bumi (MMI) dan PGA [11]

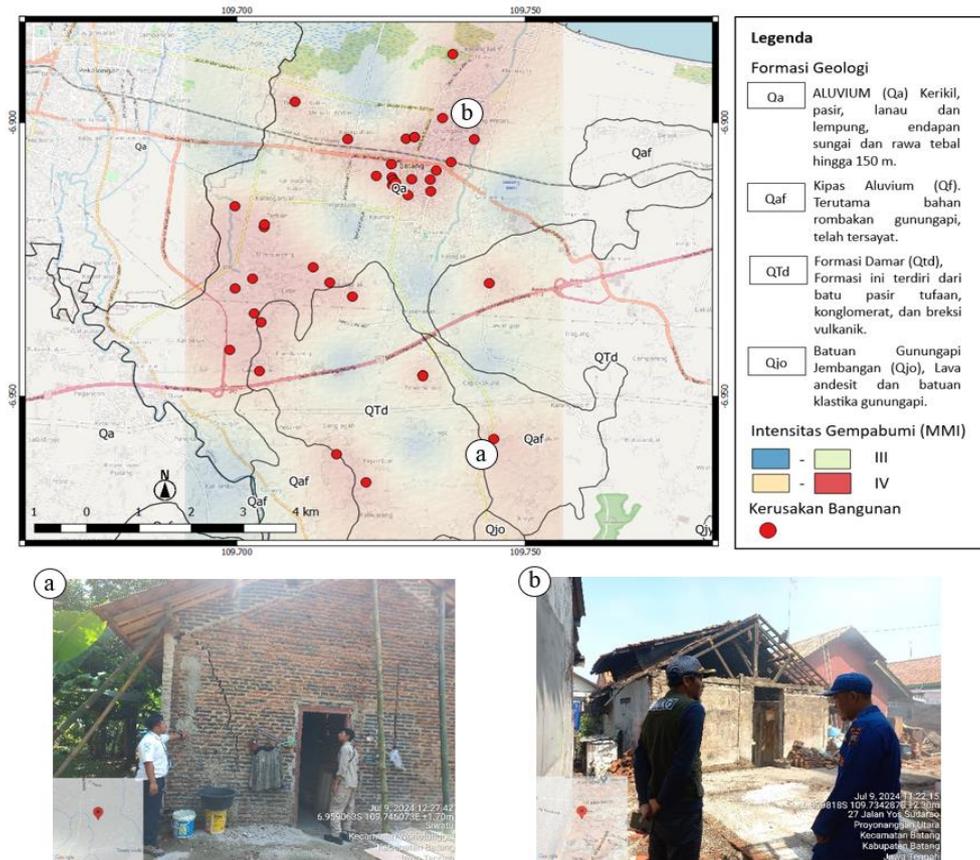
Tingkat Kerawanan	Skala MMI	Rentang Nilai MMI	PGA (gal)	Dampak atau Tingkat Kerusakan yang ditimbulkan
Rendah	I	0,5 – 1,49	< 1,7	Getaran tidak dapat dirasakan kecuali dalam keadaan hening, dan hanya dirasakan oleh beberapa orang.
	II	1,50 – 2,50	1,7 – 14	Getaran dirasakan oleh beberapa orang yang diam, berada di ruangan tingkat atas dan benda – benda ringan yang digantung terlihat bergoyang.
	III	2,50 – 3,50		Getaran dirasakan di rumah tingkat atas, getaran terasa seperti ada truk yang lewat.
	IV	3,50 – 4,50	14 – 39	Pada siang hari dirasakan oleh banyak orang di dalam rumah, beberapa orang di luar rumah, kendaraan yang diam terlihat.
	V	4,50 – 5,50	39 – 92	Hampir semua orang merasakan getaran, jendela kaca dan plester dinding pecah, barang-barang terpelanting, pohon-pohon yang tinggi tampak bergoyang.
Menengah	VI	5,50 – 6,50	92 – 180	Getaran dirasakan oleh semua penduduk, mayoritas penduduk kaget dan lari keluar, plester dinding dan cerobong asap pabrik rusak. Terjadi kerusakan ringan.
	VII	6,50 – 7,50	180 – 340	Semua orang keluar rumah, kerusakan ringan pada rumah konstruksi baik. Cerobong asap pecah. Getaran terasa oleh orang yang naik kendaraan.
	VIII	7,50 – 8,50	340 – 650	Kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi kuat, retak-retak pada bangunan yang kuat. Banyak kerusakan pada bangunan yang tidak kuat. Meja kursi terlempar, air menjadi keruh dan sulit mengendarai kendaraan.
	IX	8,50 – 9,50	650 – 1240	Umumnya pondasi rumah rusak, rangka struktur bangunan terpuntir, rumah tampak bergeser dari pondasinya, pipapipa dalam tanah terputus.
	X	9,50 – 10,50	>1240	Bangunan tembok pondasinya hancur, bangunan kayu rusak, dan rel kereta api sedikit membengkok.
Tinggi	XI	10,50 – 11,50	>1240	Rel kereta api bengkok, rumah kayu sedikit yang masih berdiri, jembatan rusak, pipa saluran rusak berat dan tidak dapat digunakan.
	XII	11,50 – 12,50	>1240	Kerusakan hampir menyeluruh, bendabenda terlempar ke udara.

III. HASIL DAN DISKUSI

Gempabumi Batang pada tanggal 7 Juli 2024 dengan kekuatan M4,4 menimbulkan kerusakan bangunan dengan kategori ringan hingga berat dengan konsentrasi pada Kecamatan Batang, Warungasem dan Wonotunggal. Analisa makroseismik dan mikroseismik dilakukan pada tiga kecamatan tersebut untuk dapat menganalisa dampak kejadian gempa bumi yang dipengaruhi oleh faktor kondisi bangunan dan karakteristik geologi lokal.

A. Analisa Makroseismik Gempa Bumi Batang

Survei makroseismik dilakukan pada tanggal 8-9 Juli 2024 untuk mengidentifikasi tingkat kerusakan yang terjadi dan mengestimasi tingkat guncangan yang terjadi (MMI). Hasil survei tim BMKG dan BPBD terdapat kerusakan bangunan sebanyak 88 bangunan dengan kategori bangunan rumah tinggal, perkantoran dan fasilitas umum. Frekuensi bangunan yang mengalami kerusakan terbanyak terdapat di Kecamatan Batang yaitu 40 bangunan, Kecamatan Warungasem sebanyak 23 bangunan dan Kecamatan Wonotunggal sebanyak 2 bangunan. Hasil identifikasi dilapangan kerusakan yang terjadi dipengaruhi oleh faktor kondisi dan kualitas bangunan. Bangunan yang mengalami kerusakan dominan bangunan berusia lebih dari 20 tahun dengan konstruksi sederhana dan belum menerapkan bangunan tahan gempa. Penilaian intensitas gempabumi yang terjadi pada ketiga kecamatan tersebut bervariasi antara III – IV MMI. Bangunan – bangunan yang mengalami kerusakan dikategorikan dengan intensitas IV MMI. Peta makroseismik menunjukkan distribusi intensitas IV MMI berada pada kawasan tengah dan Utara Kab. Batang (Gambar 1.2). Kawasan tersebut secara geologi berada pada dataran aluvial yang tersusun atas materi endapan atau sedimen yang belum terkonsolidasi. Kondisi tersebut memberikan efek guncangan (amplifikasi) yang lebih tinggi dibandingkan pada kawasan pada sisi Selatan yang berada pada Formasi QTd. Kerusakan bangunan yang terjadi di Desa Siwatu Kec Wonotunggal (**Gambar 5.a**) dikarenakan konstruksi bangunan tidak menggunakan struktur kolom. Kondisi tersebut juga dijumpai pada bangunan yang mengalami kerusakan di Desa Proyonanggan Utara Kec. Batang (**Gambar 5.b**). Intensitas gempa pada kejadian tersebut diidentifikasi dengan intensitas maksimal IV MMI. Hal ini dikarenakan pada bangunan – bangunan lain yang menerapkan konstruksi dengan struktur kolom tidak terdampak atau mengalami kerusakan. Namun, berdasarkan distribusi kerusakan pada bangunan – bangunan yang tidak berkonstruksi tahan gempa, menunjukkan pengaruh kondisi geologi lokal terhadap respon perbesaran gelombang seismik dipermukaan.

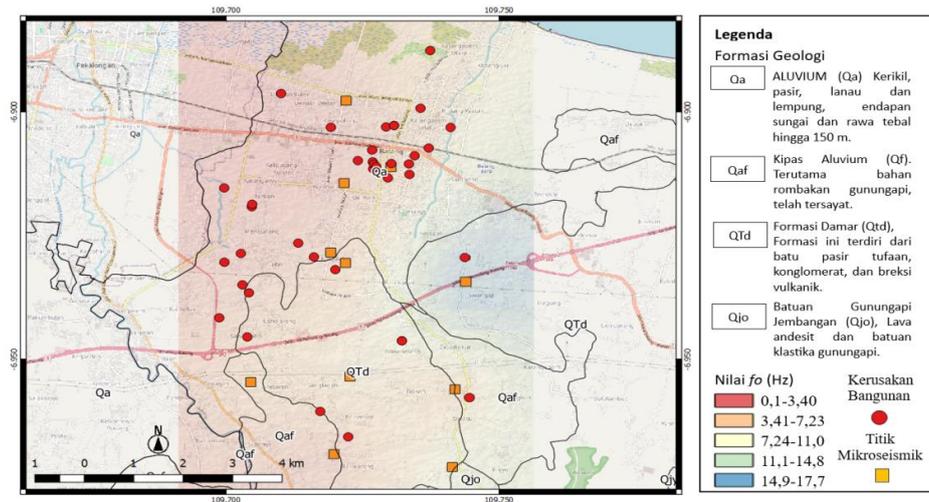


Gambar 5. Peta makroseismik gempabumi Batang 7 Juli 2024 di Kabupaten Batang dan lokasi kerusakan bangunan (a) Desa Siwatu, Kec Wonotunggal dan (b) Desa Proyonanggan Utara, Kec. Batang

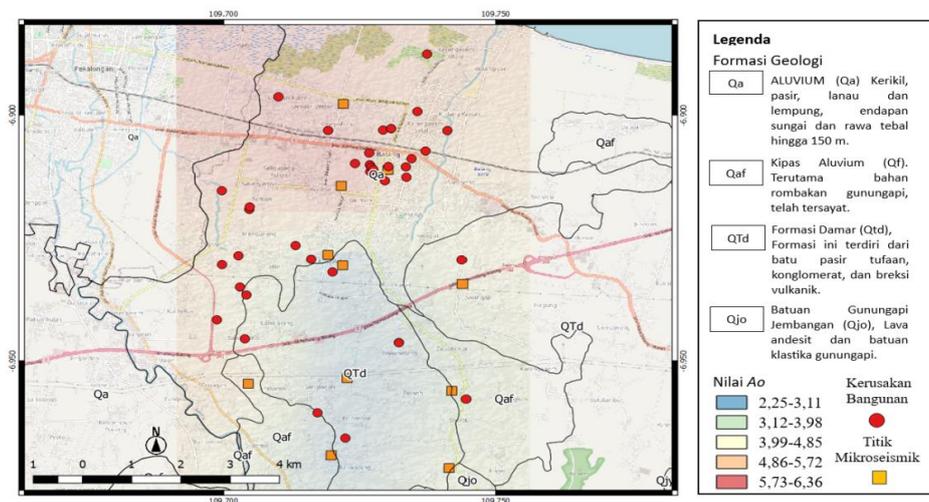
B. Analisa Mikroseismik Gempa Bumi Batang

Survei mikroseismik dilakukan di Kabupaten Batang untuk mendukung analisa data makroseismik dan kondisi geologi setempat. Kegiatan survei menggunakan peralatan *digital portabel seismograph* pada 13 titik lokasi pengukuran. Hasil pengolahan data mikroseismik dengan metode HVSR dihasilkan parameter frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Pada peta mikrozonasi f_0 , nilai f_0 di Kabupaten Batang bervariasi antara 0,1-17,7 Hz (**Gambar 6**). Distribusi nilai f_0 rendah (<3,41Hz) dominan berada pada sisi Barat dan Utara Kab. Batang yang didominasi Dataran Aluvium. Pada sisi Timur dan Selatan dominan memiliki nilai f_0 yang lebih tinggi (>3,40 Hz) dan berasosiasi dengan Formasi QTd. Interpretasi f_0 rendah yang berkorelasi dengan material sedimen, membuat zona tersebut memiliki potensi bahaya seismik yang relatif tinggi. Berdasarkan data distribusi kerusakan bangunan yang terjadi, konsentrasi kerusakan bangunan dominan berada pada f_0 rendah yaitu Dataran Aluvium. Parameter A_0 pada Kabupaten Batang bervariasi antara 2,25 -6,36, dengan pola distribusi A_0 tinggi berada pada sisi Utara (**Gambar 7**). Distribusi nilai A_0 yang tinggi (>4,85) berkorelasi dengan Dataran Aluvium. Lapisan sedimen yang belum terkonsolidasi dengan sempurna mampu memperbesar (amplifikasi) gelombang seismik yang melalui lapisan tersebut. Kondisi ini membuat zona tersebut memiliki potensi bahaya seismik yang relatif tinggi. Distribusi A_0 yang rendah berada pada sisi tengah dan Selatan yang berkorelasi dengan Formasi QTd. Berdasarkan data kerusakan yang terjadi, distribusi kerusakan dominan berada pada zona dengan nilai A_0 yang tinggi.

Hasil mikrozonasi f_0 dan A_0 menunjukkan bahwa pada kerusakan bangunan tertinggi terdapat pada Kecamatan Batang sebanyak 40 bangunan dengan nilai f_0 rendah (<3,41 Hz), A_0 tinggi (>4,85) dan berada pada Dataran Aluvium. Kecamatan Warungasem sebanyak 23 bangunan rusak dengan nilai f_0 3,42-11 Hz, nilai A_0 3,99-4,84 dan berada pada batas Dataran Aluvium serta Formasi QTd. Kerusakan bangunan terendah terdapat pada Kecamatan Wonotunggal sebanyak 2 bangunan dengan nilai f_0 tinggi (>11 Hz), nilai A_0 <3,99 dan berada pada Formasi QTd.



Gambar 6. Mikrozonasi fo dan distribusi kerusakan bangunan pada variasi formasi geologi di Kab. Batang



Gambar 7. Mikrozonasi Ao dan distribusi kerusakan bangunan pada variasi formasi geologi di Kab. Batang

IV. KESIMPULAN

Analisa makroseismik menunjukkan gempa bumi Batang memiliki intensitas III-IV MMI. Tingkat kerusakan bangunan ringan hingga berat yang terjadi tidak memberikan kontribusi pada nilai intensitas gempa bumi (MMI). Kondisi tersebut dikarenakan bangunan yang mengalami kerusakan merupakan bangunan dengan konstruksi sederhana dan tidak tahan gempa. Hasil analisa mikroseismik distribusi kerusakan dominan berada pada Dataran Aluvium dengan nilai fo <3,4 Hz dan Ao >4,8. Selain faktor kualitas bangunan, kondisi geologi lokal merupakan faktor yang mempengaruhi dampak gempa bumi dipermukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada BPBD Kab. Batang yang telah membantu dalam kegiatan survei makroseismik dan mikroseismik. Ucapan terimakasih penulis sampaikan juga kepada BMKG, khususnya Stasisun Geofisika Banjarnegara dan Sleman yang telah berpartisipasi dalam kegiatan survei dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N., Djarwadi, D., dan Faizal, L., "Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun

- 2017,” Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Advance Access published 2017.
- [2] Condon, W. H., L. Pardyanto, K. B. Ketner, T. C. Amin, S. Gafoer, dan H. Samodra, “*Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan*,” edisi ke-2, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1996.
- [3] Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumakso, A., dan Yulianto, I., “The collision of east java microplate and its implication for hydrocarbon occurrences in the east Java basin,” hlm. 1–12, dalam *Proceedings Indonesia Petroleum Association, 29th Annual Convention*, 2003.
- [4] BPBD, “*Info Grafis Dampak Gempa Bumi Batang 7 Juli 2024*,” Juli 2024.
- [5] BMKG, “*Katalog Gempa Bumi bulan Juli Tahun 2024*,” Stasiun Geofisika Sleman, Juli 2024.
- [6] Bard P. Y., Bourjot L., and Sesame Team, “*Guidelines for The Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation*,” European Commission - Research General Directorate Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME, 2004.
- [7] Mirzaoglu M., and Dýkmen U., “Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure,” *Journal of The Balkan Geophysical Society*, 6, 143-156, 2003.
- [8] Nakamura, Y., “A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface,” *Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)*, Vol. 30, No.1, 1989.
- [9] Takai and Tanaka., “*On microtremors VIII*,” Tokyo: *Bull. Earthquake Res. Inst.*,39, 97-114, 1961.
- [10] N. B. Wibowo, “Analisis Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Vs Di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten,” *Journal Technology of Civil, Electrical, Mechanical, Geology, Mining, and Urban Design*, vol. 3, no. 1, pp. 83-90, May 2018.
- [11] Lowrie, William, “*Fundamentals of Geophysics*,” New York: Cambridge University Press, 2007.



©2024. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).