

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

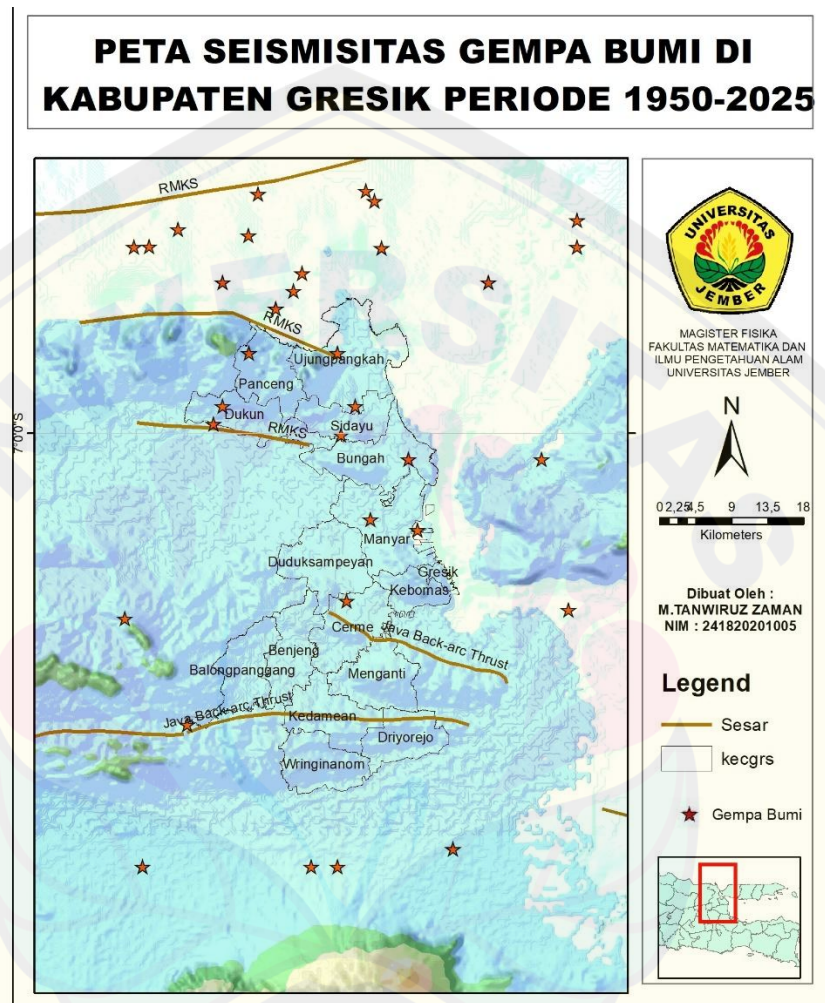
Bab ini menyajikan hasil pengolahan dan analisis data yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian mengenai mekanisme fokus dan distribusi percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration/PGA*) sebagai dasar pemetaan bahaya seismik di Kabupaten Gresik. Analisis diawali dengan pemodelan *ShakeMap* pada kejadian gempa bumi yang terjadi pada 30 Desember 2024 untuk memperoleh distribusi spasial nilai PGA. Selanjutnya dilakukan analisis mekanisme sumber gempa menggunakan data polaritas gerak pertama gelombang P sehingga diperoleh karakteristik sumber gempa yang meliputi parameter *strike*, *dip*, dan *rake*. Berdasarkan karakteristik sumber gempa tersebut, dilakukan pemodelan skenario gempa maksimum untuk menganalisis distribusi nilai PGA di Kabupaten Gresik menggunakan *ShakeMap* BMKG.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan distribusi nilai PGA menggunakan tiga model *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE), yaitu Pousse et al. (2005), Cauzzi et al. (2008), dan Shoushtari et al. (2018). Hasil perhitungan dari ketiga model GMPE tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan peta distribusi PGA dan pemodelan skenario *ShakeMap* untuk masing-masing model. Perbandingan hasil yang diperoleh dari ketiga model GMPE selanjutnya dianalisis untuk mengidentifikasi perbedaan karakteristik distribusi percepatan tanah maksimum serta mengevaluasi pengaruh pemilihan model atenuasi terhadap pemetaan bahaya seismik di Kabupaten Gresik.

4.1 Seismisitas Gempa Bumi Di Kabupaten Gresik

Sebelum membahas hasil penelitian berdasarkan tujuan penelitian, terlebih dahulu perlu dilakukan analisis terhadap kondisi seismisitas di Kabupaten Gresik. Analisis ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai persebaran aktivitas gempa bumi di sekitar wilayah penelitian sebagai dasar dalam memahami karakteristik kegempaan yang memengaruhi Kabupaten Gresik. Informasi tersebut menjadi landasan dalam mengidentifikasi sumber-sumber gempa yang berpotensi

memengaruhi wilayah penelitian serta mendukung analisis distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan pemodelan bahaya seismik yang akan dibahas pada subbab berikutnya. Peta Seismisitas Kabupaten Gresik bisa dilihat pada gambar 4.1 berikut :



Gambar 4.1 Peta Seismisitas Gempa Bumi di Kabupaten Gresik

Berdasarkan Gambar 4.1, sebaran episenter gempa bumi di sekitar Kabupaten Gresik selama periode 1950–2025 menunjukkan bahwa aktivitas seismik tersebar baik di daratan maupun perairan di sekitar wilayah penelitian. Sebaran episenter tidak bersifat acak, tetapi cenderung mengikuti pola struktur tektonik yang berkembang di kawasan tersebut, terutama di sekitar jalur sesar RMKS (Rembang–Madura–Kangean–Sakala) dan *Java Back-arc Thrust*. Konsentrasi kejadian gempa tampak lebih dominan pada wilayah utara Kabupaten

Gresik dan Laut Jawa, sedangkan beberapa kejadian lainnya tersebar di bagian selatan yang berasosiasi dengan sistem *Java Back-arc Thrust*. Pola sebaran ini menunjukkan bahwa Kabupaten Gresik dipengaruhi oleh lebih dari satu sumber gempa aktif, sehingga potensi guncangan seismik di wilayah penelitian dipengaruhi oleh interaksi berbagai struktur tektonik di sekitarnya. Informasi mengenai kondisi seismisitas ini menjadi dasar dalam analisis distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan pemodelan bahaya seismik pada subbab berikutnya.

4.2 Analisis *Shakemap* Gempa Bumi Gresik 30 Desember 2024

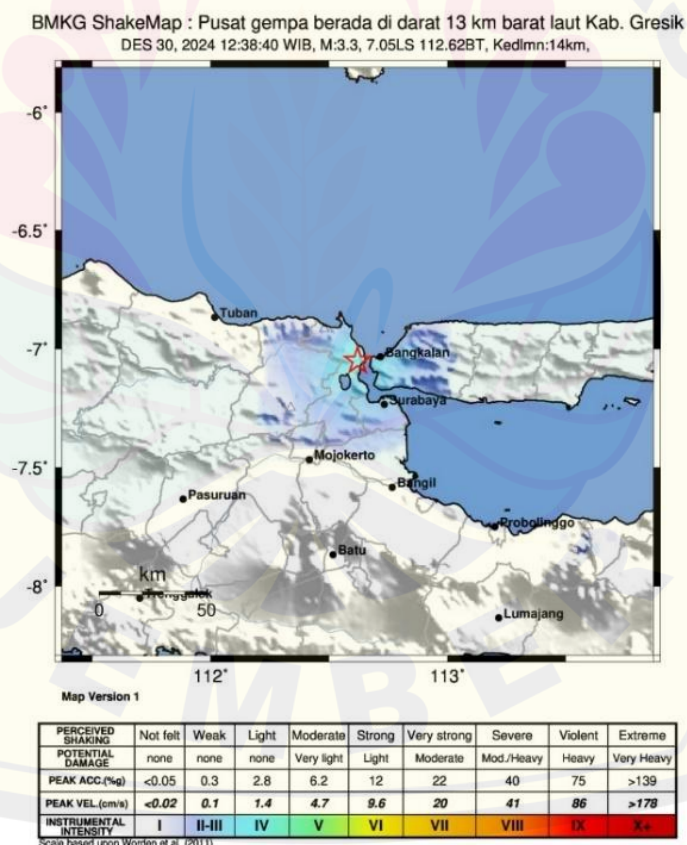
Peta *ShakeMap* dibangun berdasarkan data percepatan tanah yang direkam oleh jaringan stasiun accelerograph BMKG. Nilai percepatan yang tercatat pada setiap stasiun kemudian diolah melalui proses pemodelan spasial untuk menghasilkan peta distribusi tingkat guncangan gempa. Kejadian gempa bumi pada 30 Desember 2024 di Kabupaten Gresik tercatat oleh sejumlah stasiun accelerograf BMKG. Guncangan akibat gempa juga dilaporkan dirasakan oleh masyarakat di Gresik maupun wilayah sekitarnya. Data rekaman diperoleh dari beberapa stasiun accelerograf, yaitu: stasiun GRJI (Gresik), MLJM (Lamongan), BLJI (Banyuglugur), PCJI (Pacitan), dan KWJI (Wonosobo). Nilai percepatan getaran tanah (PGA) pada masing-masing stasiun yang merekam disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai PGA, MMI dan Jarak Stasiun Accelerograf BMKG pada Gempa bumi Gresik

No	ID Station	Station	Lat	Long	Distance	PGA- EW(Gal)	PGA- NS(Gal)	PGA- UD(Gal)
1	GRJI	Gresik, East Java	-6,915	112,479	21.66	0.1156	0.0970	0.0892
2	MLJM	Mantup, Lamongan, East Java	-7,248	112,338	38.13	0.6644	0.5243	0.2597
3	BLJI	Banyuglugur, East Java	-7,745	113,595	132.41	0.0480	0.0196	0.0206
4	PCJI	Pacitan, East Java	-8,195	111,177	203.70	0.0078	0.0059	0.0039
5	KWJI	Wonosobo, Central Java	-7,384	109,969	294.79	0.1392	0.1460	0.3508

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) maksimum akibat gempa bumi Gresik direkam oleh stasiun MLJM Lamongan yaitu 0.6644 Gal (komponen EW), 0.5243 Gal (komponen NS) dan

0.2597 Gal (komponen UD). Stasiun tersebut bukan merupakan stasiun terdekat dengan episenter yang berjarak 38.13 Km. Nilai PGA yang lebih tinggi di stasiun MLJM dibandingkan dengan stasiun GRJI yang lebih dekat terhadap episenter menunjukkan bahwa faktor jarak bukan satu-satunya pengontrol amplitudo guncangan. Perbedaan ini diduga dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal (*site effect*), di mana stasiun MLJM kemungkinan berada pada lapisan sedimen yang lebih lunak sehingga mampu mengamplifikasi gelombang seismik. Kondisi tanah lunak umumnya memiliki kecepatan gelombang geser (V_{s30}) yang rendah, sehingga menyebabkan peningkatan amplitudo getaran dibandingkan dengan daerah yang tersusun oleh batuan yang lebih kompak (Borcherdt, 1994). Selain faktor kondisi tanah, perbedaan nilai PGA juga dapat dipengaruhi oleh jalur penjalaran gelombang (*path effect*) serta heterogenitas struktur bawah permukaan. Hasil Permodelan *Shakemap* dapat dilihat pada Gambar 4.2.

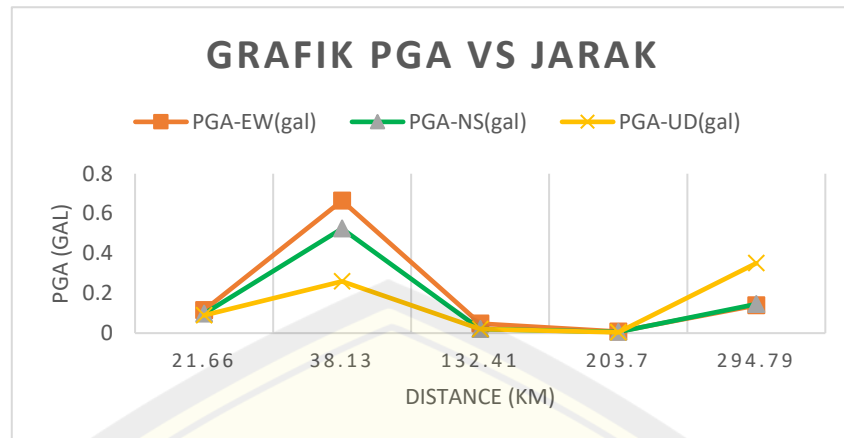


Gambar 4.2 Peta *Shakemap* Gempa Bumi Gresik 30 Desember 2024

Berdasarkan Gambar 4.2, hasil pemodelan *ShakeMap* menunjukkan bahwa distribusi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) pada gempa bumi Gresik tanggal 30 Desember 2024 terkonsentrasi di sekitar episenter yang berada di darat sekitar 13 km barat laut Kabupaten Gresik. Berdasarkan klasifikasi PGA pada *ShakeMap* BMKG, wilayah yang berada di sekitar episenter mengalami percepatan tanah maksimum berkisar 0,2–1,4 %g ($\approx 1,96$ –13,73 Gal), yang kemudian dikonversi menjadi intensitas guncangan II–III MMI. Nilai PGA tersebut menunjukkan bahwa guncangan yang terjadi relatif rendah, sesuai dengan magnitudo gempa yang hanya sebesar M3,3.

Intensitas maksimum yang dihasilkan adalah III MMI, yang dirasakan di Kecamatan Manyar, Bungah, dan Sedayu (Kabupaten Gresik) serta Kecamatan Socah (Kabupaten Bangkalan). Sementara itu, wilayah Kabupaten Lamongan yang meliputi Kecamatan Kalitengah, Kota Lamongan, Tikung, Karangbinangun, Deket, dan Sarirejo serta beberapa kecamatan di Kabupaten Gresik bagian selatan seperti Balongpanggang, Benjeng, Dudusampeyan, dan sekitarnya berada pada intensitas II MMI. Sebaran intensitas yang relatif terbatas tersebut konsisten dengan magnitudo gempa yang kecil (M3,3). Meskipun demikian, pola distribusi guncangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain magnitudo gempa, jarak terhadap sumber gempa, serta karakteristik geologi setempat yang memengaruhi tingkat amplifikasi gelombang seismik pada setiap lokasi.

Variasi nilai PGA berdasarkan jarak stasiun accelerograf untuk Gempa bumi Gresik 30 Desember 2024 dapat ditunjukkan pada Grafik pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Variasi nilai PGA berdasar Jarak Stasiun Accelerograf

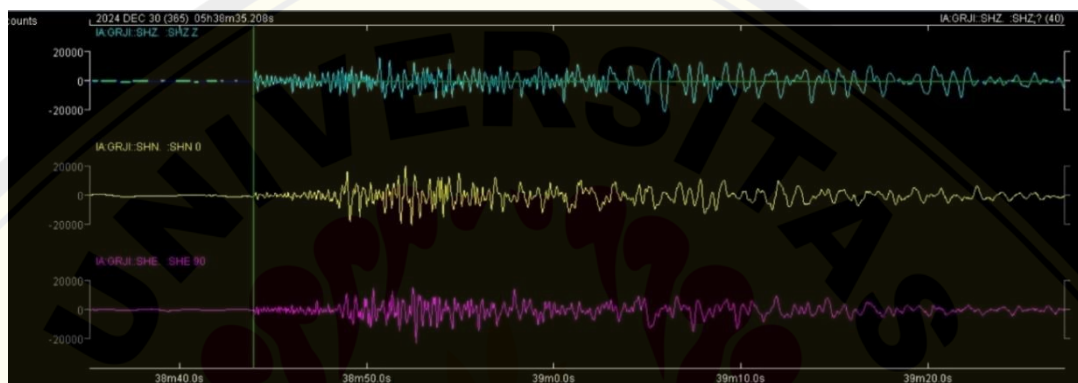
Secara umum, besarnya nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) memiliki keterkaitan dengan jarak suatu lokasi terhadap episenter gempa. Data hasil pencatatan accelerograph pada beberapa stasiun memperlihatkan bahwa nilai PGA cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jarak stasiun dari sumber gempabumi. Pola ini menunjukkan adanya hubungan atenuasi gelombang seismik, di mana energi gempa mengalami pelemahan akibat perambatan melalui medium bumi serta pengaruh geometri penjalaran gelombang (Boore, 2004). Namun demikian, penyimpangan dari pola tersebut, seperti yang terjadi pada stasiun MLJM dan KWJI, mengindikasikan adanya pengaruh faktor lain selain jarak, seperti kondisi geologi lokal dan jalur penjalaran gelombang.

selain faktor jarak, nilai PGA juga sangat dipengaruhi oleh efek tapak lokal (*site effect*), kondisi geologi, serta arah penjalaran gelombang seismik. Perbedaan litologi, ketebalan sedimen, dan struktur bawah permukaan juga dapat memperkuat atau melemahkan amplitudo gelombang, sehingga menghasilkan perbedaan intensitas meskipun jaraknya lebih jauh dari sumber (Borcherdt, 1994; Douglas, 2003).

4.3 Analisis Mekanisme Sumber Gempa Bumi Gresik 30 Desember 2024

Tahap awal penentuan mekanisme sumber gempa dilakukan melalui identifikasi polaritas gerak pertama gelombang P yang diklasifikasikan sebagai

kompresi (*up*) atau dilatasi (*down*) dengan bantuan perangkat lunak SeisGram2K, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.4, Metode identifikasi polaritas gelombang P merupakan pendekatan klasik dalam analisis mekanisme fokus yang digunakan untuk menentukan orientasi bidang sesar berdasarkan distribusi kompresi dan dilatasi pada bola fokus. Pendekatan ini banyak digunakan dalam studi seismologi karena mampu memberikan informasi awal mengenai karakteristik sumber gempa, termasuk tipe sesar dan orientasi tegasan utama (Hardebeck & Shearer, 2002; Lahr & Snoke, 2002).



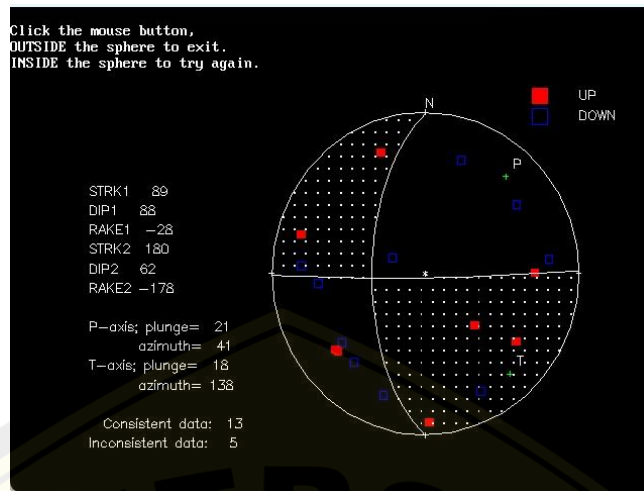
Gambar 4.4 *Picking* impuls awal gelombang P dengan Software Seisgram2k

Penentuan polaritas ini dilakukan melalui proses picking sinyal gelombang P pada *waveform* gempa bumi yang bersumber dari jaringan seismograf BMKG. Hasil identifikasi polaritas kemudian dikonversi ke dalam bentuk numerik, dengan nilai 1 untuk kompresi dan -1 untuk dilatasi, yang selanjutnya digunakan sebagai input dalam analisis mekanisme fokus. Proses konversi ini diperlukan agar data polaritas dapat diolah secara kuantitatif dalam perangkat lunak inversi mekanisme fokus. Data polaritas yang telah diperoleh, bersama dengan informasi posisi stasiun, lintang, bujur, dan kedalaman hiposenter, kemudian diolah untuk menentukan parameter geometris sumber gempabumi. Proses ini menjadi dasar penting dalam penentuan bidang nodal dan karakteristik sesar yang mengontrol mekanisme sumber gempabumi yang akan dianalisis. Penentuan parameter geometris ini umumnya mencakup nilai *strike*, *dip*, dan *rake*, yang merepresentasikan orientasi dan arah pergerakan bidang sesar (Aki & Richards, 2002). Hasil *Picking* Polaritas Gelombang P pada Gempa bumi Gresik disajikan pada Tabel 4.2.

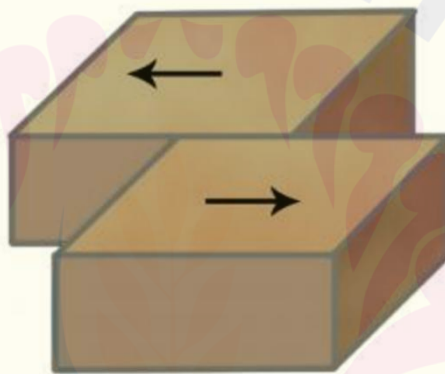
Tabel 4.2 Impuls Awal Gelombang P pada Stasiun Perekam Gempa bumi Gresik

NO	Kode Stasiun	Lokasi	Impuls Awal Gel P
1	BAJI	Bangkalan, Madura	-1 (dilatasi)
2	GRJI	Panceng, Gresik	1 (kompresi)
3	KMMI	Kalianget, Madura	1 (kompresi)
4	MLJM	Mantup, Lamongan	-1 (dilatasi)
5	PCJI	Sudimoro, Pacitan	-1 (dilatasi)
6	PPJI	Tretes, Pasuruan	1 (kompresi)
7	PWJI	Pagerwojo, Tulungagung	-1 (dilatasi)
8	SNJI	Sawahan, Nganjuk	1 (kompresi)
9	SWJI	Geneng, Ngawi	1 (kompresi)
10	TBJI	Tambak boyo, Tuban	1 (kompresi)
11	WGJM	Wringinanom, Gresik	-1 (dilatasi)
12	BPMJM	Pademawu, Pamekasan	-1 (dilatasi)
13	BLJI	Banyuglugur, Situbondo	1 (kompresi)
14	GGJM	Gabus, Grobogan	-1 (dilatasi)
15	LUJI	Lumbang, Pasuruan	-1 (dilatasi)
16	BAPJI	Kliyur, Ponorogo	-1 (dilatasi)
17	SEJI	Senori, Tuban	-1 (dilatasi)
18	SIJM	Sidoarjo	1 (kompresi)

Hasil pengolahan data menggunakan perangkat lunak SeisGram2K, Azmtak, dan PINV menghasilkan diagram *focal mechanism* yang disajikan pada Gambar 4.5. Bidang nodal pertama memiliki parameter *strike* 89° , *dip* 88° , *rake* -28° , sedangkan bidang nodal kedua menunjukkan *strike* 180° , *dip* 62° , *rake* -178° . Kedua bidang nodal tersebut merepresentasikan dua kemungkinan bidang sesar yang secara geometris memenuhi solusi mekanisme fokus. Analisis mekanisme sumber gempa bumi berdasarkan solusi bola fokal menunjukkan bahwa kejadian gempa dikontrol oleh mekanisme sesar geser mendatar (*strike-slip*). Hal ini ditunjukkan oleh nilai *rake* pada kedua bidang nodal yang berada mendekati 0° hingga $\pm 180^\circ$, khususnya pada bidang nodal kedua dengan *rake* -178° , yang mengindikasikan pergeseran mendatar hampir murni (Gambar 4.6). Nilai *rake* yang mendekati $\pm 180^\circ$ menunjukkan dominasi pergerakan horizontal, yang merupakan karakteristik utama dari mekanisme sesar *strike-slip* (Shearer, 2019).



Gambar 4.5 Hasil Pengolahan *Focal Mechanism* Gempa bumi Gresik 30 Desember 2024



Gambar 4.6 Visualisasi model bidang Sesar Geser mendatar

Bidang nodal pertama memiliki orientasi *strike* 89° dengan sudut kemiringan (*dip*) sebesar 88° , yang menunjukkan bidang sesar hampir vertikal. Sementara itu, bidang nodal kedua memiliki *strike* 180° dan *dip* 62° , yang juga masih mencerminkan karakteristik sesar geser mendatar. Orientasi bidang sesar yang curam hingga hampir vertikal merupakan ciri umum sesar geser mendatar (*strike-slip*) pada kerak dangkal, yang mencerminkan kondisi tegasan horizontal yang lebih dominan dibandingkan tegasan vertikal (Anderson, 1951).

Orientasi sumbu tegasan utama memperkuat interpretasi mekanisme sesar geser mendatar. Sumbu tekanan maksimum (P-axis) memiliki nilai *plunge* sebesar 21° dengan azimuth 41° , sedangkan sumbu tarikan maksimum (T-axis) memiliki *plunge* 18° dengan azimuth 138° . Nilai *plunge* yang relatif kecil pada kedua sumbu menunjukkan bahwa orientasi tegasan utama cenderung mendatar. Kondisi ini

mengindikasikan rezim tegasan dominan horizontal yang umum dijumpai pada lingkungan tektonik sesar geser mendatar (*strike-slip*) (Zoback, 1992). Berdasarkan Peta Patahan Aktif Indonesia yang diterbitkan oleh PUSGEN, lokasi episenter gempa bumi Gresik berada pada jalur Sesar RMKS–Tuban 3, yang merupakan bagian dari sistem Sesar Rembang–Madura–Kangean–Sakala (RMKS). Sistem sesar ini dicirikan oleh dominasi mekanisme sesar geser mendatar (*strike-slip*) dengan orientasi umum barat–timur hingga barat laut–tenggara, dan berperan sebagai salah satu sumber gempabumi dangkal di wilayah Jawa Timur bagian utara. Karakteristik ini juga didukung oleh studi tektonik regional yang menunjukkan bahwa wilayah Jawa Timur dipengaruhi oleh interaksi kompleks antar sistem sesar aktif (Koulali et al., 2017; PuSGeN, 2024)

Hasil analisis mekanisme sumber gempa berdasarkan solusi bola fokus menunjukkan bahwa gempa Gresik memiliki mekanisme sesar geser mendatar (*strike-slip*) dengan komponen oblique yang lemah. Komponen oblique tersebut tercermin dari nilai *rake* yang menyimpang dari 0° maupun $\pm 180^\circ$, meskipun pergerakan horizontal masih menjadi komponen yang dominan. Mekanisme ini menunjukkan kesesuaian yang baik dengan karakteristik kinematika Sesar RMKS–Tuban 3, sehingga mengindikasikan bahwa kejadian gempabumi tersebut merupakan manifestasi aktivitas pada sistem sesar RMKS-Tuban 3.

Meskipun secara regional Kabupaten Gresik juga berada di bawah pengaruh Zona Kendeng yang didominasi oleh mekanisme sesar naik sebagai akibat konvergensi Lempeng Indo–Australia dengan Lempeng Eurasia di bagian selatan Pulau Jawa (PuSGeN, 2024), kondisi tektonik Jawa Timur secara keseluruhan merupakan hasil interaksi yang kompleks antara proses deformasi tektonik dan aktivitas magmatik pada wilayah *back-arc*, yang dikendalikan oleh keberadaan sesar naik serta struktur kompresi regional (Lupi et al., 2022). Selain itu, deformasi kerak di Pulau Jawa juga dipengaruhi oleh aktivitas sesar kerak dangkal yang mengakomodasi sebagian deformasi tektonik (Koulali et al., 2017). Temuan penelitian ini mengindikasikan bahwa deformasi tektonik di Jawa Timur bagian utara bersifat kompleks dan diakomodasi oleh lebih dari satu sistem sesar. Kondisi ini menunjukkan adanya interaksi antara rezim kompresi regional dan deformasi

lokal yang menghasilkan variasi mekanisme sumber gempa di wilayah tersebut. Dalam konteks ini, Sesar RMKS berperan sebagai sistem sesar geser mendatar yang mengakomodasi komponen regangan lateral dan menjadi sumber gempabumi lokal dengan mekanisme *strike-slip*.

Dengan mempertimbangkan lokasi episenter yang berada pada jalur Sesar RMKS–Tuban 3, kedalaman gempa yang relatif dangkal, serta kesesuaian mekanisme sumber yang diperoleh, maka gempa bumi Gresik 30 Desember 2024 diinterpretasikan sebagai akibat aktivitas Sesar RMKS–Tuban 3. Interpretasi ini didasarkan pada kesesuaian antara parameter mekanisme fokus dan kondisi geologi regional. Temuan ini menegaskan bahwa sistem sesar geser mendatar di Jawa Timur bagian utara memiliki peran signifikan sebagai sumber gempabumi lokal dan perlu dipertimbangkan secara khusus dalam evaluasi bahaya seismik di Kabupaten Gresik, dan sekitarnya.

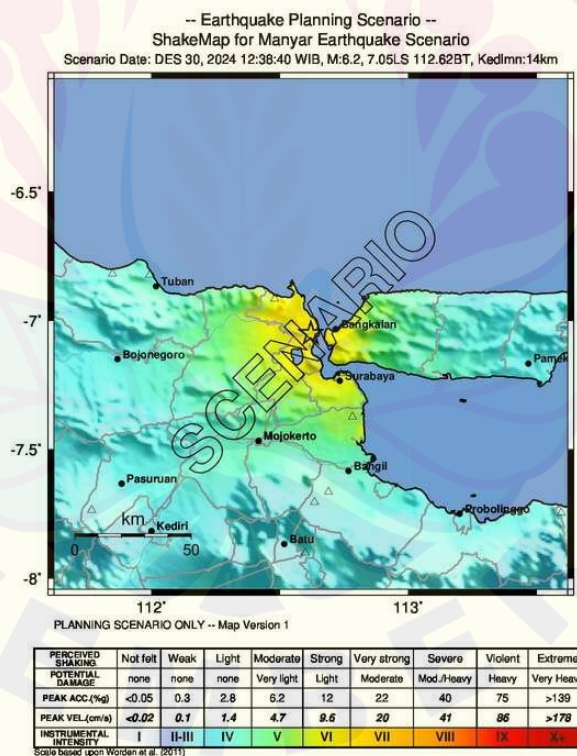
4.4 Analisis Skenario *Shakemap* Gempa Bumi

Pemodelan skenario gempa bumi untuk Kabupaten Gresik dilakukan dengan mengadopsi parameter episenter yang sama seperti pada kejadian gempa tanggal 30 Desember 2024. Pada skenario ini, magnitudo gempa disimulasikan sebesar M 6,2, mengacu pada Peta Patahan Aktif Indonesia (PuSGeN, 2024) yang menyebutkan bahwa Sistem Sesar RMKS-Tuban 3 memiliki potensi menghasilkan gempa dengan magnitudo maksimum hingga 6,2. Penggunaan magnitudo maksimum dalam pemodelan skenario merupakan pendekatan yang umum diterapkan dalam analisis bahaya seismik untuk merepresentasikan kondisi guncangan maksimum yang berpotensi terjadi pada wilayah penelitian (Irsyam et al., 2017; Petersen et al., 2015).

Pemodelan skenario gempa dengan magnitudo 6,2 diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai distribusi zona-zona yang berpotensi mengalami guncangan kuat. Analisis ini mencakup kemungkinan peningkatan intensitas guncangan (MMI) di wilayah permukiman padat, kawasan industri, serta infrastruktur vital di Kabupaten Gresik dan sekitarnya. Dengan demikian, hasil pemodelan ini tidak hanya memberikan kontribusi bagi pengembangan kajian

ilmiah, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam penyusunan strategi mitigasi gempa bumi serta perencanaan tata ruang yang mempertimbangkan tingkat bahaya seismik. Hasil pemodelan skenario gempa bumi dengan magnitudo 6,2 ditunjukkan pada Gambar 4.7.

Gambar 4.7 tersebut menunjukkan hasil pemodelan skenario gempabumi di Gresik dengan magnitudo M 6.2 pada kedalaman 14 km. Peta ShakeMap menyajikan sebaran nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA), *Peak Ground Velocity* (PGV), serta intensitas seismik instrumental (*Modified Mercalli Intensity*/MMI) pada wilayah yang terdampak gempa bumi. Parameter-parameter tersebut merupakan indikator utama dalam evaluasi dampak guncangan, di mana PGA dan PGV merepresentasikan karakteristik gerakan tanah, sedangkan MMI menggambarkan tingkat dampak yang dirasakan oleh manusia dan potensi kerusakan bangunan (Wald et al., 1999b; Worden et al., 2010).



Gambar 4.7 Skenario *Shakemap* Gempa bumi Gresik M6.2

Berdasarkan peta skenario *ShakeMap* gempabumi bermagnitudo M 6,2, distribusi intensitas guncangan menunjukkan variasi spasial yang dipengaruhi oleh

jarak terhadap episenter, kondisi geologi setempat, serta karakteristik perambatan gelombang seismik. Variasi ini menunjukkan bahwa distribusi guncangan tidak bersifat homogen, melainkan dikontrol oleh kombinasi faktor sumber, jalur, dan kondisi tapak lokal. Hasil pemodelan memperlihatkan bahwa wilayah di sekitar episenter, yakni di Kabupaten Gresik, mengalami intensitas guncangan maksimum hingga VI–VII MMI, yang ditunjukkan oleh dominasi warna kuning tua pada peta *ShakeMap*. Berdasarkan klasifikasi *ShakeMap* BMKG, intensitas tersebut berkorelasi dengan nilai Peak Ground Acceleration (PGA) berkisar antara 9,6–20 %g atau sekitar 94–196 Gal. Nilai PGA tersebut menunjukkan bahwa percepatan tanah maksimum di sekitar sumber gempa cukup tinggi sehingga berpotensi menimbulkan guncangan kuat. Intensitas pada kisaran VI–VII MMI menunjukkan potensi kerusakan yang signifikan, yang secara umum berkaitan dengan peningkatan tingkat guncangan sebagaimana direpresentasikan dalam skala intensitas makroseismik (Wald et al., 1999). Intensitas ini menggambarkan guncangan yang kuat dan dapat dirasakan oleh sebagian besar masyarakat. Pada kondisi tersebut, banyak orang mengalami kepanikan sehingga berusaha meninggalkan bangunan untuk menyelamatkan diri. Pada tingkat intensitas ini, beberapa perabot berat dapat bergeser, plester dinding berjatuh, serta bangunan dengan kualitas konstruksi rendah atau tidak dirancang tahan gempa berpotensi mengalami kerusakan ringan hingga sedang.

Seiring dengan bertambahnya jarak dari episenter, intensitas guncangan mengalami penurunan secara bertahap yang diikuti dengan menurunnya nilai PGA. Wilayah Kota Surabaya, bagian barat Kabupaten Bangkalan, dan bagian timur Kabupaten Lamongan umumnya berada pada kisaran VI MMI, yang ekuivalen dengan PGA sekitar 9,6 %g atau ± 94 Gal. Sementara itu, wilayah Tuban, Bojonegoro, Mojokerto, dan Pasuruan didominasi oleh intensitas IV–V MMI, yang berkorelasi dengan PGA sekitar 1,4–4,7 %g atau sekitar 14–46 Gal. Penurunan intensitas dan nilai PGA tersebut mencerminkan proses atenuasi energi gelombang seismik akibat penyebaran geometrik (*geometrical spreading*) dan disipasi energi selama perambatan gelombang, sebagaimana direpresentasikan dalam model *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) (Boore et al., 2014). Meskipun

demikian, variasi lokal tetap mungkin terjadi akibat pengaruh kondisi geologi setempat, seperti keberadaan sedimen lunak yang dapat memperkuat guncangan (*site amplification*), sehingga pada lokasi tertentu nilai PGA dapat lebih tinggi dibandingkan wilayah lain yang memiliki jarak relatif sama terhadap sumber gempa.

Pola penurunan intensitas dan distribusi nilai PGA tersebut mencerminkan proses atenuasi energi gelombang gempa terhadap jarak dari sumber serta pengaruh heterogenitas medium geologi yang dilalui gelombang seismik, yang menyebabkan variasi tingkat guncangan di setiap wilayah. Dengan demikian, hasil pemodelan ini menegaskan bahwa evaluasi bahaya seismik tidak dapat hanya didasarkan pada jarak terhadap sumber gempa, tetapi juga harus mempertimbangkan kondisi geologi lokal dan karakteristik perambatan gelombang. Temuan ini konsisten dengan berbagai studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa kombinasi faktor sumber gempa, perambatan gelombang, dan kondisi tapak berperan penting dalam menentukan distribusi guncangan gempa (Douglas, 2003; Worden et al., 2010).

4.5 Analisis Distribusi PGA dan Pemetaan Bahaya Seismik Menggunakan Model GMPE

Analisis distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan model *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) ini bertujuan untuk mengestimasi tingkat percepatan tanah maksimum di Kabupaten Gresik berdasarkan data gempa historis yang pernah tercatat di wilayah Gresik dan sekitarnya. Pada penelitian ini digunakan tiga model GMPE, yaitu Pousse et al. (2005), Cauzzi et al. (2008), dan Shoushtari et al. (2018), yang masing-masing memiliki karakteristik empiris dan formulasi yang berbeda dalam memprediksi parameter guncangan tanah. Nilai PGA dihitung pada setiap titik *grid* menggunakan seluruh data gempa historis, kemudian dipilih nilai PGA tertinggi sebagai representasi tingkat guncangan maksimum pada setiap lokasi. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk peta distribusi PGA untuk menggambarkan pola spasial potensi bahaya seismik di Kabupaten Gresik berdasarkan karakteristik gempa bumi historis yang pernah

terjadi di wilayah Gresik dan sekitarnya. Sampel Data Historis Gempa bumi yang pernah terjadi di Sekitar Kabupaten Gresik Bisa dilihat dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Sampel Data Gempa Historis di Kabupaten Gresik

No	Date	Time	Lat	Long	Depth	Mag
1	19/06/1950	19:37:06	-6.826	112.017	45	6.6
2	24/08/1957	05:51:09	-7.266	111.714	65	5.7
3	28/12/1989	17:12:47	-6.777	112.439	15	5.1
4	22/04/2010	07:34:50	-6.73	112.45	38	3.8
5	15/06/2011	23:50:28	-6.83	112.41	88	4.4
6	18/09/2011	08:32:49	-7.11	112.63	10	3.6
7	02/04/2012	12:48:22	-6.86	112.47	19	3.5
8	25/06/2012	06:43:56	-6.91	112.44	10	3.9
9	28/01/2013	05:57:41	-6.91	112.54	10	3.2
10	02/04/2013	22:17:57	-7.47	112.67	10	4.1

4.5.1. Sebaran Nilai $Vs30$ Kabupaten Gresik

Kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter ($Vs30$) digunakan sebagai parameter untuk menggambarkan kondisi tapak (*site condition*) dalam analisis bahaya seismik. Nilai $Vs30$ menggambarkan kekakuan lapisan tanah atau batuan, sehingga berpengaruh terhadap respons tanah terhadap guncangan gempa. Semakin tinggi nilai $Vs30$, semakin keras dan kompak kondisi batuan yang umumnya menghasilkan amplifikasi gelombang seismik yang lebih kecil. Sebaliknya, nilai $Vs30$ yang rendah menunjukkan kondisi tanah yang lebih lunak sehingga berpotensi memperkuat guncangan gempa di permukaan (Sutiyono et al., 2024).

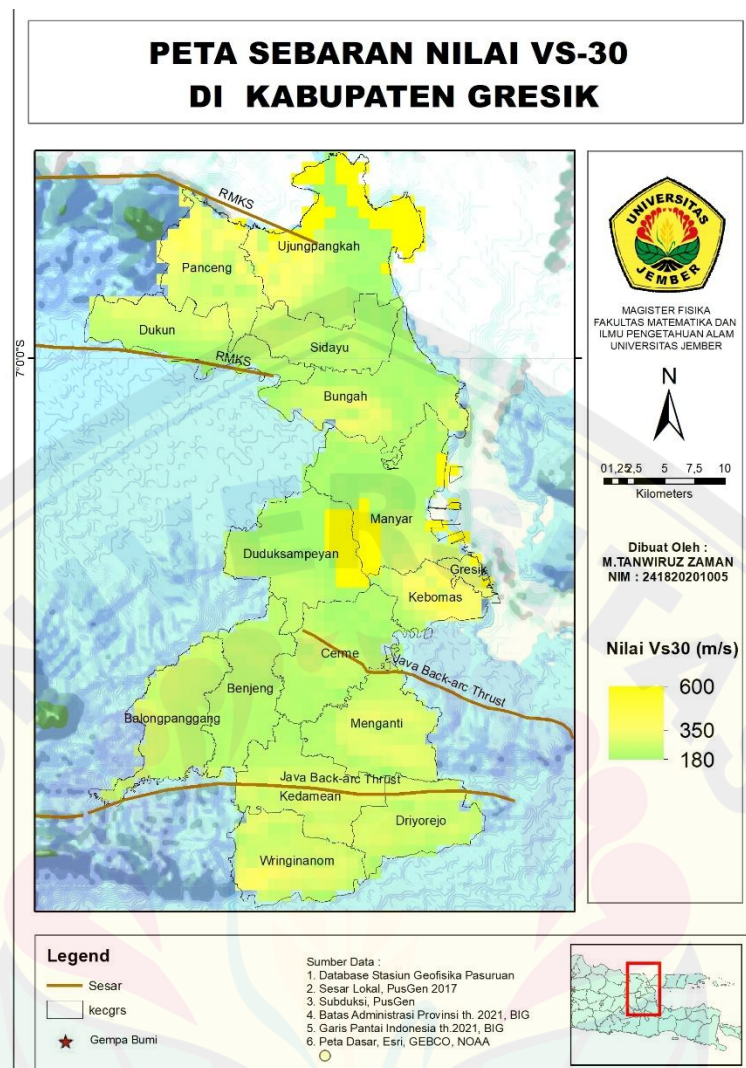
Besarnya nilai $Vs30$ ditentukan oleh karakteristik geologi setempat, seperti litologi, struktur geologi, serta kondisi kelembapan atau kandungan air di dalam tanah. Selain pengukuran langsung di lapangan, USGS (United States Geological Survey) juga mengembangkan pendekatan estimasi $Vs30$ berbasis data kemiringan lereng (*slope*) yang diperoleh dari citra satelit. Metode ini banyak digunakan karena mampu mengestimasi $Vs30$ pada wilayah yang luas, sulit dijangkau, dan memiliki keterbatasan data pengukuran lapangan. Meskipun demikian, tingkat akurasi metode tersebut tetap dipengaruhi oleh kualitas data *slope* serta kondisi geologi

wilayah penelitian, sehingga pada daerah dengan struktur geologi yang kompleks hasil estimasi V_{s30} perlu diinterpretasikan secara lebih hati-hati (Sutiyono et al., 2024). Penentuan kelas situs pada penelitian ini mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726:2019, yang membagi profil tanah berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser rata-rata V_{s30} sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Klasifikasi Situs berdasar nilai V_s

Kelas Situs	Nilai $V_s(\text{m/s})$
SA (Batuan Keras)	> 1500
SB (Batuan)	$750 < V_s < 1500$
SC (Tanah Keras)	$350 < V_s < 750$
SD (Tanah Sedang)	$175 < V_s < 350$
SE (Tanah Lunak)	< 175

Peta sebaran nilai V_{s30} di Kabupaten Gresik yang digunakan sebagai parameter kondisi tapak (*site condition*) dalam perhitungan GMPE dapat dilihat pada Gambar 4.8.



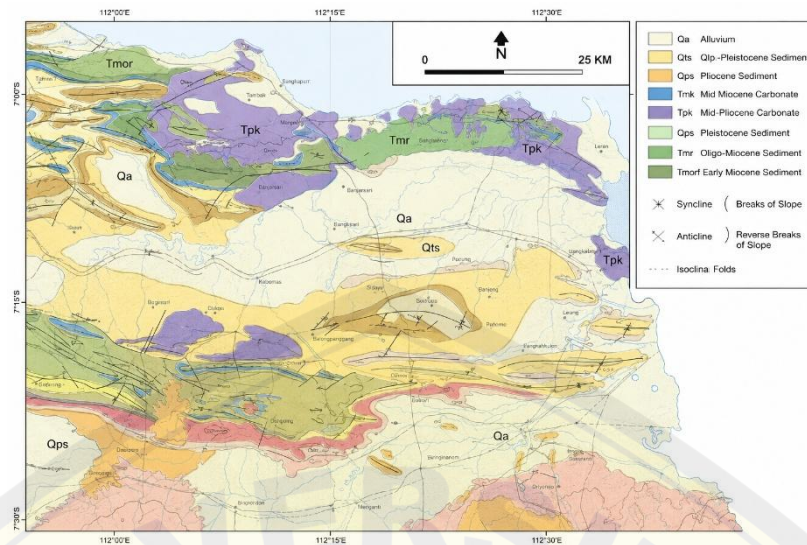
Gambar 4.8 Peta Sebaran Nilai Vs 30 di Kabupaten Gresik

Berdasarkan Gambar 4.8, nilai $Vs30$ di Kabupaten Gresik berkisar antara 180 hingga 600 m/s. Berdasarkan klasifikasi kondisi tapak menurut SNI 1726:2019, rentang nilai tersebut menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh kelas situs SC (tanah sangat padat dan batuan lunak) dengan nilai $Vs30$ antara 350–750 m/s, sedangkan beberapa wilayah lainnya termasuk dalam kelas situs SD (tanah sedang) dengan nilai $Vs30$ berkisar 175–350 m/s. Sebaran kelas situs tersebut menunjukkan bahwa kondisi geologi permukaan Kabupaten Gresik didominasi oleh lapisan tanah yang relatif padat hingga batuan lunak, meskipun masih dijumpai beberapa wilayah dengan kondisi tanah yang lebih lunak.

Wilayah yang termasuk kelas situs SD memiliki potensi amplifikasi gelombang seismik yang lebih besar dibandingkan kelas situs SC karena lapisan tanahnya relatif lebih lunak. Sebaliknya, daerah dengan nilai V_{s30} yang lebih tinggi cenderung memiliki kondisi tanah atau batuan yang lebih kompak sehingga mampu mereduksi penguatan guncangan di permukaan. Oleh karena itu, variasi nilai V_{s30} di Kabupaten Gresik menjadi salah satu faktor penting yang dipertimbangkan dalam penelitian ini sebagai parameter kondisi tapak (*site condition*) pada perhitungan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE), sehingga distribusi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang dihasilkan dapat merepresentasikan pengaruh kondisi geologi lokal terhadap tingkat guncangan gempa bumi.

4.5.2. Korelasi Peta V_{s30} dan Peta Geologi di Kabupaten Gresik

Untuk memperoleh gambaran mengenai kesesuaian hasil pemodelan kondisi tapak, peta distribusi V_{s30} selanjutnya dibandingkan dengan peta geologi Kabupaten Gresik. Perbandingan ini dilakukan untuk mengevaluasi apakah pola sebaran nilai V_{s30} memiliki hubungan dengan karakteristik litologi penyusun wilayah penelitian. Secara umum, nilai V_{s30} dipengaruhi oleh sifat fisik material penyusun permukaan, seperti tingkat kekompakan dan kekerasan batuan. Oleh karena itu, wilayah yang didominasi batuan terkonsolidasi umumnya memiliki nilai V_{s30} yang lebih tinggi, sedangkan wilayah yang tersusun oleh endapan sedimen lepas cenderung memiliki nilai V_{s30} yang lebih rendah. Hasil perbandingan ini diharapkan dapat memberikan validasi secara kualitatif terhadap distribusi V_{s30} yang digunakan dalam penelitian sebagai parameter kondisi tapak pada pemodelan bahaya seismik di Kabupaten Gresik. Peta Geologi Kabupaten Gresik bisa dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Peta Geologi Kabupaten Gresik (Sumber : JOBPPEJ, 2005)

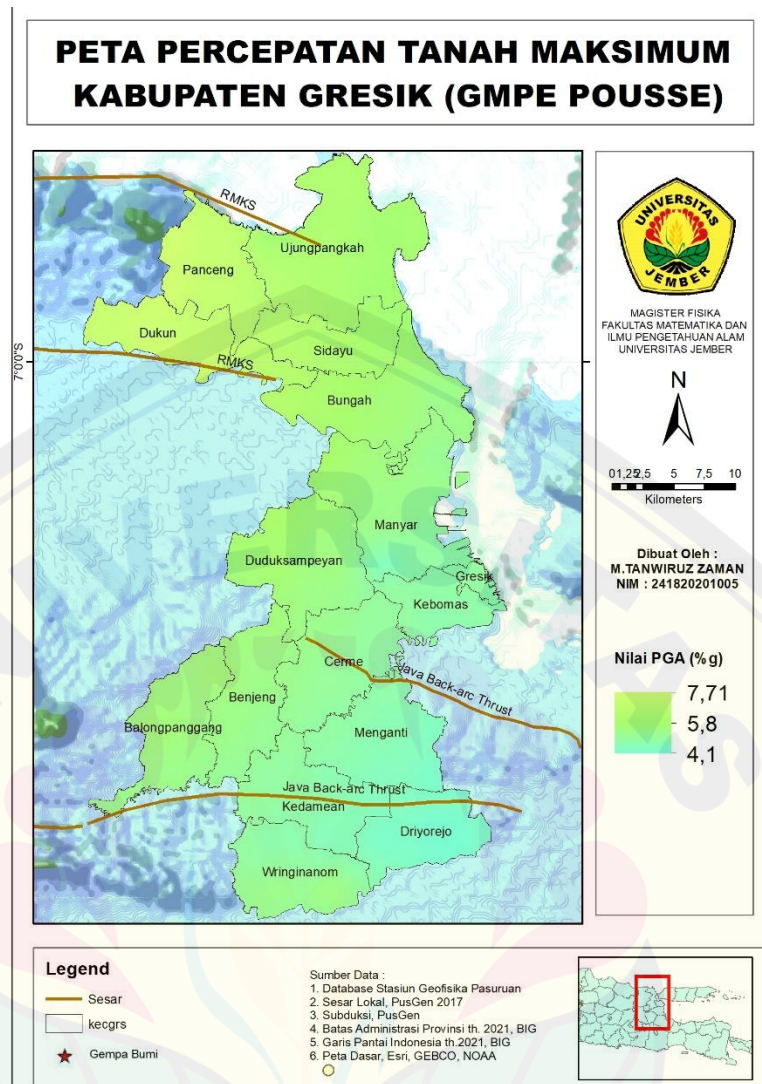
Berdasarkan hasil perbandingan antara peta distribusi Vs30 dan peta geologi Kabupaten Gresik, terlihat adanya kesesuaian yang cukup baik antara nilai Vs30 dengan karakteristik litologi penyusun wilayah penelitian. Wilayah bagian utara Kabupaten Gresik, terutama Kecamatan Ujungpangkah dan sebagian Panceng, memiliki nilai Vs30 yang relatif tinggi, yaitu berkisar antara 350–600 m/s. Pada peta geologi, wilayah tersebut didominasi oleh satuan batuan karbonat dan sedimen berumur Miosen hingga Pliosen, seperti Formasi Paciran (Tpk) dan Formasi Madura (Tmk), yang memiliki tingkat kekompakan relatif tinggi. Material batuan yang lebih terkonsolidasi menyebabkan gelombang geser merambat lebih cepat sehingga menghasilkan nilai Vs30 yang lebih besar. Selain itu, variasi lokal nilai Vs30 yang relatif tinggi juga dijumpai di sekitar Kecamatan Manyar, Kebomas, dan sebagian Gresik, yang berkaitan dengan keberadaan satuan batuan yang lebih kompak dibandingkan wilayah di sekitarnya.

Sebaliknya, wilayah bagian tengah hingga selatan Kabupaten Gresik, seperti Kecamatan Menganti, Kedamean, Benjeng, Balongpanggang, Driyorejo, dan Wringinanom, umumnya memiliki nilai Vs30 berkisar antara 180–350 m/s. Berdasarkan peta geologi, wilayah tersebut didominasi oleh endapan Aluvium (Qa) dan sedimen Kuartar yang bersifat lebih lepas (*unconsolidated sediments*), sehingga memiliki kekakuan yang lebih rendah dan menyebabkan kecepatan rambat gelombang geser menjadi lebih kecil. Kondisi ini berpotensi meningkatkan

amplifikasi gelombang seismik apabila terjadi gempa bumi. Secara keseluruhan, hasil perbandingan menunjukkan bahwa pola distribusi V_{s30} memiliki kesesuaian yang baik dengan kondisi geologi regional Kabupaten Gresik. Meskipun demikian, karena data V_{s30} yang digunakan merupakan data global berbasis *slope-based V_{s30}* dari USGS, hasil yang diperoleh lebih mencerminkan kondisi geologi regional daripada kondisi lokal, sehingga pengukuran lapangan masih diperlukan untuk memperoleh karakteristik kondisi tapak yang lebih representatif.

4.5.3. Analisis Distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) Menggunakan Model GMPE Pousse et al. (2005)

Setelah parameter kondisi tapak (V_{s30}) diperoleh, tahap selanjutnya adalah menghitung nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan model *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) Pousse et al. (2005). Model ini dipilih karena dikembangkan untuk wilayah tektonik kerak dangkal (*shallow crustal earthquake*) yang memiliki karakteristik serupa dengan sumber gempa pada penelitian ini. Peta sebaran nilai PGA menggunakan model GMPE Pousse dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Peta Sebaran Nilai PGA model GMPE Pousse di Kab. Gresik

Berdasarkan Gambar 4.10, hasil perhitungan menggunakan model *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) Pousse et al. (2005) menunjukkan bahwa distribusi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Gresik berkisar antara 4,1–7,71 %g. Nilai PGA tertinggi umumnya berada pada wilayah bagian utara hingga barat laut Kabupaten Gresik, seperti Kecamatan Ujungpangkah, Panceng, dan Dukun, yang ditunjukkan oleh warna hijau muda. Sementara itu, wilayah bagian selatan hingga tenggara, seperti Kecamatan Driyorejo, Kedamean, Cerme, Kebomas, dan sebagian Kecamatan Gresik, menunjukkan nilai PGA yang relatif lebih rendah, berkisar sekitar 4,1–5,8 %g, yang ditunjukkan oleh warna hijau kebiruan. Pola sebaran tersebut menggambarkan adanya variasi tingkat percepatan

tanah maksimum pada setiap wilayah sebagai akibat pengaruh jarak terhadap sumber gempa serta kondisi geologi lokal yang direpresentasikan melalui parameter kondisi tapak (*site condition*). Sebaran nilai PGA dan wilayah kecamatan hasil pemodelan menggunakan model GMPE Pousse et al. (2005) berdasarkan data gempa historis disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Sebaran PGA Model GMPE Pousse et al. (2005)

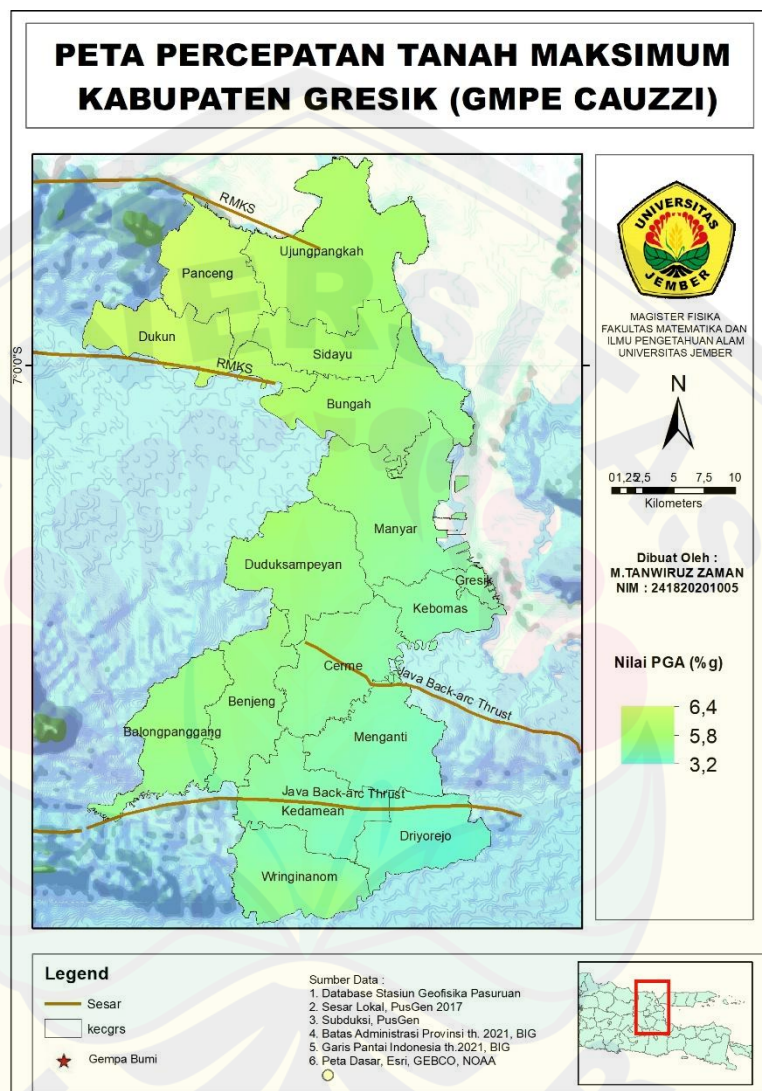
PGA Pousse (% g)	Skala MMI	Kecamatan	Warna
5,81 – 7,70	VI	Manyar, Bungah, Sidayu, Dukun, Panceng, Ujungpangkah, Cerme, Kebomas Gresik, Dudusampeyan,	Hijau Muda
4,10 – 5,80	V	Driyorejo, Wringinanom, Kedamean, Menganti, Benjeng, Balongpanggang	Hijau Kebiruan

Distribusi nilai PGA yang dihasilkan model Pousse et al. (2005) menunjukkan pola perubahan yang relatif bertahap di seluruh wilayah Kabupaten Gresik. Variasi tersebut mencerminkan pengaruh proses atenuasi gelombang seismik, di mana nilai percepatan tanah maksimum cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber gempa. Selain dipengaruhi oleh jarak terhadap sumber, distribusi PGA juga dipengaruhi oleh kondisi tapak yang direpresentasikan oleh nilai V_{s30} , sehingga pada beberapa lokasi dapat terjadi perbedaan nilai PGA meskipun memiliki jarak yang relatif sama terhadap episenter. Hasil perhitungan menggunakan model Pousse et al. (2005) ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk membandingkan distribusi PGA yang diperoleh dari model Cauzzi et al. (2008) dan Shoushtari et al. (2018), sehingga dapat dievaluasi karakteristik masing-masing model dalam memprediksi percepatan tanah maksimum di Kabupaten Gresik.

4.5.4. Analisis Distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) Menggunakan Model GMPE Cauzzi et al. (2008)

Selain menggunakan model GMPE Pousse et al. (2005), distribusi *nilai Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Gresik juga dihitung menggunakan model GMPE Cauzzi et al. (2008). Penggunaan model ini bertujuan untuk

memperoleh gambaran distribusi PGA berdasarkan karakteristik prediksi yang berbeda sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan model GMPE lainnya. Peta distribusi PGA hasil perhitungan menggunakan GMPE Cauzzi et al. (2008) disajikan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Peta Sebaran Nilai PGA model GMPE Cauzzi di Kab.Gresik

Berdasarkan Gambar 4.11, hasil perhitungan menggunakan model *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) Cauzzi et al. (2008) menunjukkan bahwa distribusi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Gresik berada pada kisaran 3,2–6,4 %g. Sebaran nilai PGA memperlihatkan pola spasial yang relatif bertahap, dengan nilai tertinggi umumnya berada di wilayah bagian utara Kabupaten Gresik, meliputi Kecamatan Ujungpangkah, Panceng, dan Dukun, yang

ditunjukkan oleh warna hijau muda. Sementara itu, wilayah bagian selatan hingga tenggara, seperti Kecamatan Cerme, Kedamean, Driyorejo, Kebomas, dan sebagian Kecamatan Gresik, menunjukkan nilai PGA yang relatif lebih rendah, berkisar sekitar 3,2–5,8 %g, yang ditunjukkan oleh warna hijau kebiruan. Pola tersebut mengindikasikan bahwa tingkat percepatan tanah maksimum mengalami perubahan secara bertahap pada seluruh wilayah penelitian. Sebaran nilai PGA dan wilayah kecamatan hasil pemodelan menggunakan model GMPE Cauzzi et al. (2008) berdasarkan data gempa historis disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Sebaran PGA Model GMPE Cauzzi et al. (2008)

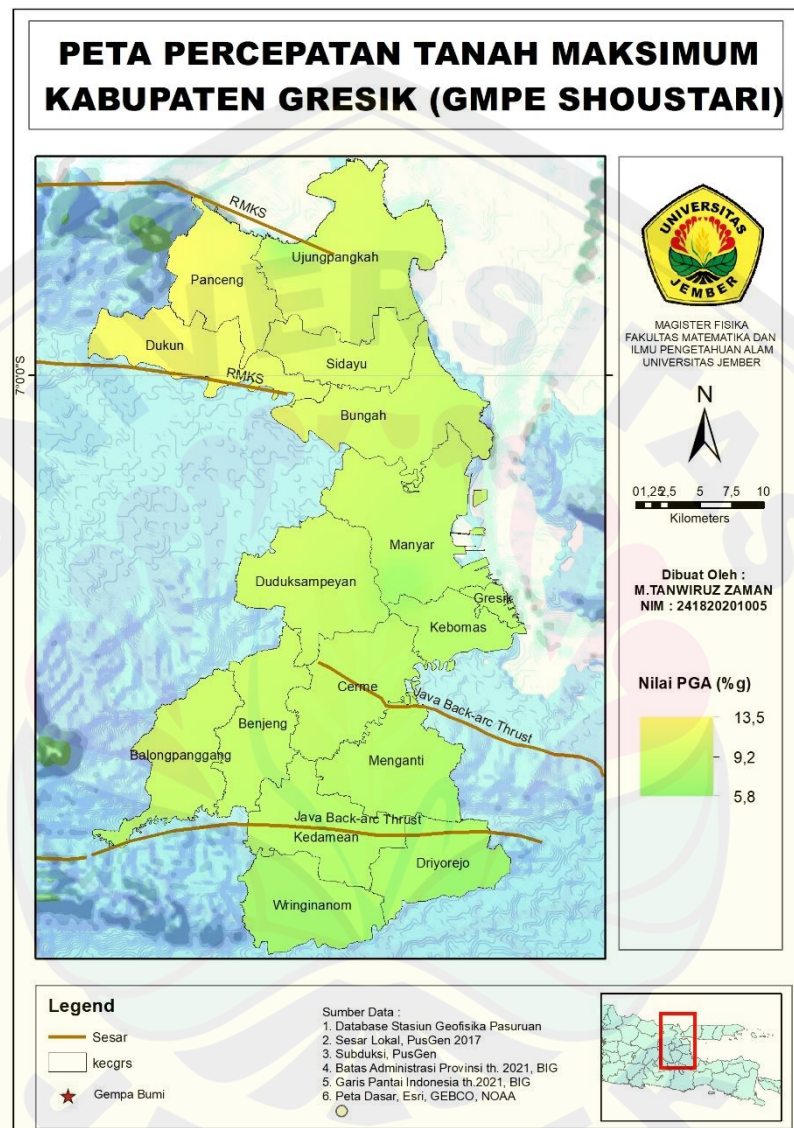
PGA Cauzzi (% g)	Skala MMI	Kecamatan	Warna
5,81–6,40	VI	Manyar, Bungah, Sidayu, Dukun, Panceng, Ujungpangkah	Hijau Muda
3,20–5,80	V	Driyorejo, Wringinanom, Kedamean, Menganti, Benjeng, Balongpanggang, Cerme, Kebomas, Gresik, Dudusampeyan	Hijau Kebiruan

Variasi distribusi PGA yang dihasilkan oleh model Cauzzi et al. (2008) menunjukkan bahwa percepatan tanah maksimum dipengaruhi oleh kombinasi karakteristik sumber gempa, proses perambatan gelombang seismik, serta kondisi tapak yang direpresentasikan oleh parameter V_{s30} . Wilayah yang memiliki kondisi tanah relatif lebih lunak cenderung menunjukkan nilai PGA yang lebih tinggi dibandingkan wilayah dengan kondisi tanah yang lebih kompak. Hasil distribusi PGA menggunakan model Cauzzi et al. (2008) selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan model Pousse et al. (2005) dan Shoushtari et al. (2018) untuk mengevaluasi perbedaan karakteristik prediksi percepatan tanah maksimum pada wilayah Kabupaten Gresik.

4.5.5. Analisis *Distribusi Peak Ground Acceleration* (PGA) Menggunakan GMPE Shoushtari et al. (2018)

Sebagai model ketiga dalam penelitian ini, distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) dihitung menggunakan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) Shoushtari et al. (2018). Hasil perhitungan tersebut kemudian

divisualisasikan dalam bentuk peta distribusi PGA untuk menggambarkan variasi spasial percepatan tanah maksimum di Kabupaten Gresik. Peta distribusi PGA hasil perhitungan menggunakan model GMPE Shoushtari et al. (2018) disajikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Peta Sebaran Nilai PGA model GMPE Shoustari di Kab. Gresik

Berdasarkan Gambar 4.12, hasil perhitungan menggunakan model *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) Shoushtari et al. (2018) menunjukkan bahwa distribusi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Gresik berada pada kisaran 5,8–13,5 %g. Nilai PGA tertinggi umumnya terdapat pada wilayah bagian utara Kabupaten Gresik, meliputi Kecamatan Panceng, Ujungpangkah, dan Dukun,

yang ditunjukkan oleh warna kuning hingga hijau muda. Sementara itu, wilayah bagian selatan dan tenggara, seperti Kecamatan Driyorejo, Kedamean, Cerme, Kebomas, serta sebagian Kecamatan Gresik, menunjukkan nilai PGA yang relatif lebih rendah, berkisar sekitar 5,8–9,2 %g, yang ditunjukkan oleh warna hijau. Sebaran tersebut menunjukkan bahwa percepatan tanah maksimum mengalami variasi spasial di seluruh wilayah Kabupaten Gresik dengan kecenderungan menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber gempa. Sebaran nilai PGA dan wilayah kecamatan hasil pemodelan menggunakan model GMPE Shoustari et al. (2018) berdasarkan data gempa historis disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Sebaran PGA Model GMPE Shoustari et al. (2018)

PGA Shoustari (% g)	Skala MMI	Kecamatan	Warna
9,21–13,50	VI	Manyar, Bungah, Sidayu, Dukun, Panceng, Ujungpangkah, Cerme, Kebomas, Gresik,	Kuning Kehijauan
5,80–9,20	V	Balongpanggang, Benjeng, Wringinanom, Kedamean, Driyorejo, Menganti, Dudusampeyan	Hijau Muda

Distribusi nilai PGA yang dihasilkan oleh model Shoushtari et al. (2018) dipengaruhi oleh kombinasi parameter sumber gempa, proses perambatan gelombang seismik, dan kondisi tapak yang direpresentasikan oleh nilai V_{s30} . Wilayah yang memiliki kondisi tanah relatif lebih lunak cenderung menunjukkan nilai PGA yang lebih tinggi dibandingkan wilayah dengan kondisi tanah yang lebih kompak. Hasil distribusi PGA menggunakan model Shoushtari et al. (2018) selanjutnya digunakan sebagai salah satu dasar dalam penyusunan peta bahaya seismik Kabupaten Gresik dan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari model GMPE Pousse et al. (2005) serta Cauzzi et al. (2008) untuk mengevaluasi karakteristik prediksi masing-masing model.

4.5.6. Perbandingan Distribusi Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Model GMPE

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan model *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) terhadap estimasi percepatan tanah maksimum di Kabupaten

Gresik, hasil perhitungan menggunakan model Pousse et al. (2005), Cauzzi et al. (2008), dan Shoushtari et al. (2018) dibandingkan berdasarkan pola distribusi spasial serta rentang nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang dihasilkan. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik prediksi masing-masing model sehingga dapat memberikan gambaran mengenai variasi estimasi percepatan tanah maksimum pada wilayah penelitian.

Tabel 4.8 Perbandingan Nilai PGA

Model GMPE	PGA Min (%g)	PGA Maks (%g)
Pousse et al. (2005)	4,10	7,71
Cauzzi et al. (2008)	3,20	4,20
Shoushtari et al. (2018)	5,80	13,50

Berdasarkan Tabel 4.8, ketiga model GMPE menghasilkan pola distribusi spasial yang relatif serupa, yaitu nilai PGA tertinggi berada di wilayah bagian utara Kabupaten Gresik yang berdekatan dengan sumber gempa, kemudian menurun secara bertahap menuju wilayah bagian selatan dan tenggara. Kesamaan pola tersebut menunjukkan bahwa ketiga model sama-sama merepresentasikan proses atenuasi gelombang seismik, di mana percepatan tanah maksimum berkurang seiring bertambahnya jarak dari sumber gempa. Meskipun demikian, setiap model menghasilkan rentang nilai PGA yang berbeda karena memiliki formulasi empiris, basis data, serta parameter kalibrasi yang tidak sama.

Model GMPE Shoushtari et al. (2018) menghasilkan estimasi PGA paling tinggi dengan rentang 5,8–13,5 %g, diikuti oleh model Pousse et al. (2005) dengan rentang 4,1–7,71 %g, sedangkan model Cauzzi et al. (2008) menghasilkan rentang nilai paling rendah yaitu 3,2–6,4 %g. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa model Shoushtari memberikan prediksi guncangan yang lebih konservatif dibandingkan dua model lainnya untuk kondisi sumber gempa yang digunakan dalam penelitian ini. Sebaliknya, model Cauzzi memberikan estimasi percepatan tanah maksimum yang lebih rendah, sedangkan model Pousse menghasilkan nilai yang berada di antara kedua model tersebut. Data selengkapnya untuk nilai PGA

berdasarkan kecamatan yang diperoleh dari 3 macam GMPE tersebut diberikan pada tabel Lampiran 1.

Perbedaan hasil prediksi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing model GMPE, termasuk data rekaman gempa yang digunakan dalam proses pengembangannya, formulasi matematis, serta cara setiap model memperhitungkan pengaruh magnitudo, jarak sumber gempa, dan kondisi tapak (*site condition*). Oleh karena itu, penggunaan lebih dari satu model GMPE dalam penelitian ini memberikan gambaran rentang kemungkinan nilai percepatan tanah maksimum di Kabupaten Gresik sehingga hasil analisis bahaya seismik menjadi lebih komprehensif.

4.6 Analisis Skenario *ShakeMap* Berdasarkan Model Atenuasi

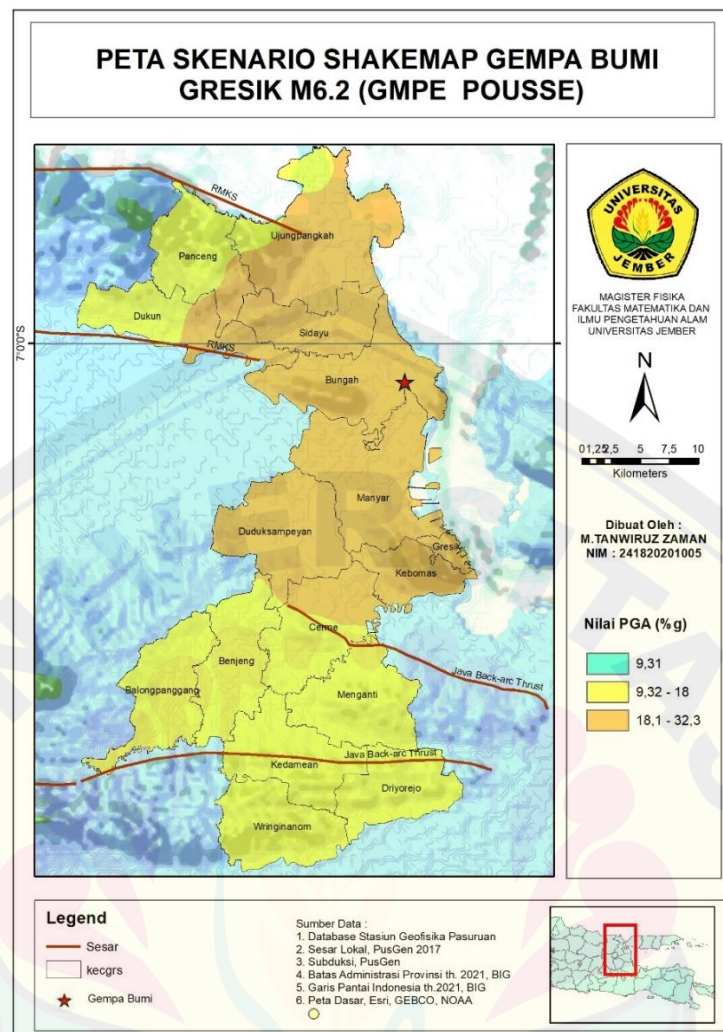
Setelah dilakukan perhitungan distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan tiga model atenuasi, yaitu Pousse et al. (2005), Cauzzi et al. (2008), dan Shoushtari et al. (2018), tahap selanjutnya adalah melakukan pemodelan skenario *ShakeMap* untuk menggambarkan distribusi spasial percepatan tanah maksimum apabila terjadi gempa bumi dengan parameter tertentu di wilayah penelitian. Pemodelan skenario ini bertujuan untuk memberikan gambaran tingkat guncangan yang berpotensi terjadi di Kabupaten Gresik sebagai salah satu upaya dalam mendukung kajian bahaya seismik dan mitigasi risiko gempa bumi.

Skenario *ShakeMap* pada penelitian ini menggunakan parameter sumber gempa yang mengacu pada kejadian gempa bumi Gresik, tanggal 30 Desember 2024, dengan mempertahankan lokasi episenter dan kedalaman hiposenter, sedangkan magnitudo disesuaikan menjadi Mw 6,2 sesuai nilai magnitudo maksimum (*maximum magnitude/Mmax*) Segmen RMKS Tuban-3 berdasarkan Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN, 2017). Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) pada setiap titik grid di Kabupaten Gresik menggunakan model atenuasi Pousse et al. (2005), Cauzzi et al. (2008), dan Shoushtari et al. (2018) berdasarkan parameter gempa skenario tersebut. Nilai PGA yang diperoleh dari masing-masing model kemudian divisualisasikan dalam bentuk

peta ShakeMap sehingga menghasilkan distribusi spasial percepatan tanah maksimum untuk setiap model atenuasi.

4.6.1. Analisis Skenario ShakeMap Menggunakan Model Atenuasi Pousse et al. (2005)

Pemodelan skenario *ShakeMap* menggunakan model atenuasi Pousse et al. (2005) dilakukan berdasarkan parameter gempa skenario yang telah ditetapkan pada penelitian ini. Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dihitung pada setiap titik grid di wilayah Kabupaten Gresik menggunakan persamaan atenuasi Pousse et al. (2005), kemudian hasil perhitungan tersebut diinterpolasi secara spasial untuk menghasilkan peta distribusi PGA dalam satuan persen gravitasi (%g). Peta hasil pemodelan *ShakeMap* menggunakan model atenuasi Pousse et al. (2005) disajikan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Peta Skenario Shakemap di Kab. Gresik menggunakan model GMPE Pousse

Berdasarkan Gambar 4.13, hasil pemodelan skenario *ShakeMap* menggunakan model atenuasi Pousse et al. (2005) menunjukkan bahwa distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Gresik berada pada kisaran 9,31–32,3 %g. Sebagian besar wilayah Kabupaten Gresik, khususnya wilayah tengah hingga utara yang meliputi Kecamatan Ujungpangkah, Panceng, Dukun, Sidayu, Bungah, Manyar, Kebomas, dan Gresik, didominasi oleh nilai PGA sebesar 18,1–32,3 %g yang ditunjukkan dengan warna oranye pada peta. Berdasarkan hubungan antara PGA dan intensitas MMI menurut USGS, kisaran nilai tersebut berkorelasi dengan intensitas VII MMI, yang menunjukkan guncangan kuat dan berpotensi menyebabkan kerusakan ringan hingga sedang pada bangunan dengan kualitas

konstruksi yang kurang baik. Tabel 4.9 berikut adalah Sebaran PGA perkecamatan hasil skenario *Shakemap* model GMPE Pousse.

Tabel 4.9 Sebaran PGA Hasil Skenario *Shakemap* Model GMPE Pousse

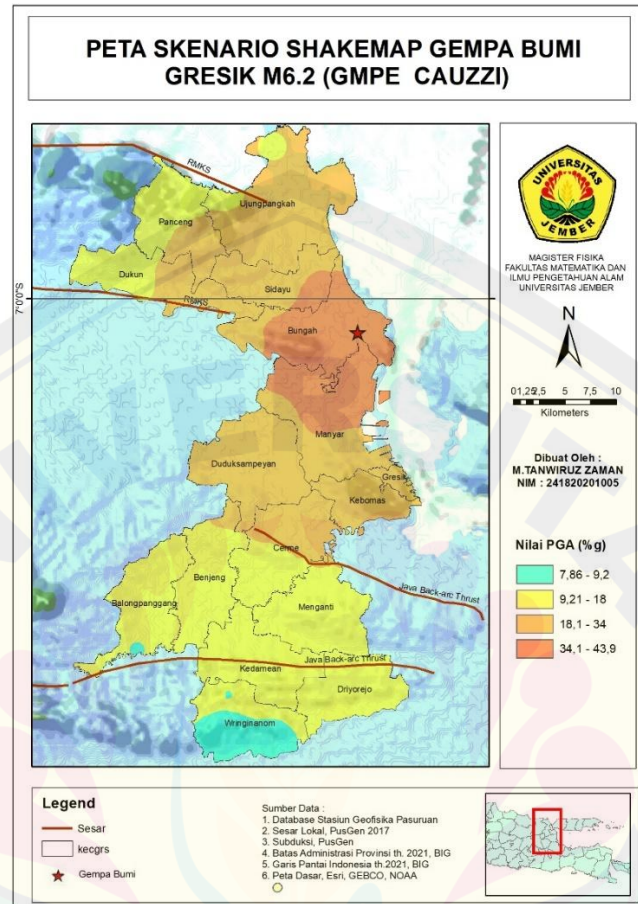
PGA Pousse (% g)	Skala MMI	Kecamatan	Warna
9.32 – 18	VII	Bungah, Manyar, Sidayu, Gresik, Kebomas, Duduk sampeyan, Cerme, Ujung Pangkah, Dukun, Panceng	Orange Kekuningan
3.9- 9.2	VI	Benjeng, Balong Panggang, Menganti, Cerme, Kedamean, Dukun, Panceng, Wringanom, Driyorejo	Kuning

Sementara itu, wilayah bagian selatan Kabupaten Gresik, seperti Kecamatan Balongpanggang, Benjeng, Cerme, Menganti, Kedamean, Driyorejo, dan Wringinanom, umumnya memiliki nilai PGA pada kisaran 9,32–18 %g yang ditunjukkan dengan warna kuning. Kisaran PGA tersebut setara dengan intensitas sekitar VI MMI, yang mengindikasikan guncangan kuat yang dirasakan oleh hampir seluruh penduduk serta berpotensi menyebabkan retakan pada dinding, kerusakan ringan pada bangunan, dan bergesernya sebagian perabot rumah tangga. Pola distribusi tersebut menunjukkan bahwa wilayah yang berada lebih dekat dengan sumber gempa cenderung mengalami nilai PGA yang lebih tinggi, sedangkan wilayah yang lebih jauh menunjukkan penurunan nilai PGA sebagai akibat dari proses atenuasi energi gelombang seismik selama perambatan dari sumber menuju lokasi pengamatan.

4.6.2. Analisis Skenario ShakeMap Menggunakan Model Atenuasi Cauzzi et al. (2008)

Pemodelan skenario *ShakeMap* menggunakan model atenuasi Cauzzi et al. (2008) dilakukan dengan parameter gempa skenario yang sama seperti pada model sebelumnya. Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dihitung pada setiap titik grid di wilayah Kabupaten Gresik menggunakan persamaan atenuasi Cauzzi et al. (2008), kemudian hasil perhitungan tersebut diinterpolasi secara spasial untuk menghasilkan peta distribusi PGA dalam satuan persen gravitasi (%g). Peta hasil

pemodelan ShakeMap menggunakan model atenuasi Cauzzi et al. (2008) disajikan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Peta Skenario Shakemap di Kab. Gresik menggunakan model GMPE Cauzzi

Berdasarkan Gambar 4.14, hasil pemodelan skenario *ShakeMap* menggunakan model atenuasi Cauzzi et al. (2008) menunjukkan bahwa distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Gresik berada pada kisaran 7,86–43,9 %g. Sebagian besar wilayah Kabupaten Gresik berada pada rentang PGA 18,1–34 %g yang ditunjukkan dengan warna oranye kekuningan, meliputi Kecamatan Ujungpangkah, Panceng, Dukun, Sidayu, Manyar, Duduksampeyan, Kebomas, Gresik, dan Cerme. Berdasarkan hubungan antara nilai PGA dan intensitas *Modified Mercalli Intensity* (MMI) menurut USGS, kisaran tersebut berkorelasi dengan intensitas VII MMI, yang mengindikasikan guncangan sangat kuat dan berpotensi menimbulkan kerusakan ringan hingga sedang pada bangunan

yang tidak dirancang tahan gempa, Tabel 4.10 berikut adalah Sebaran PGA perkecamatan hasil skenario *Shakemap* model GMPE Cauzzi.

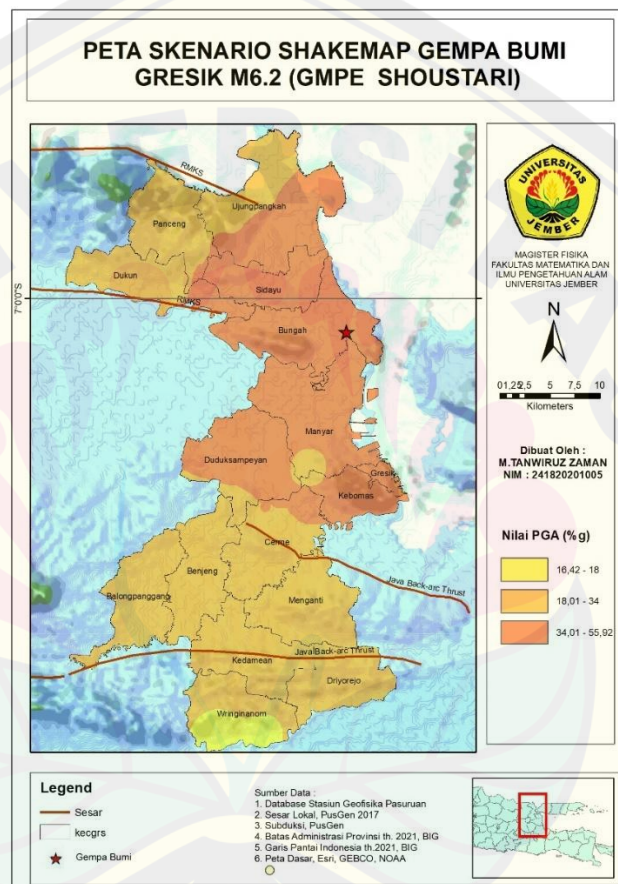
Tabel 4.10 Sebaran PGA Hasil Skenario *Shakemap* Model GMPE Cauzzi

PGA Cauzzi (% g)	Skala MMI	Kecamatan	Warna
34,1- 43.9	VIII	Bungah, Manyar, Sidayu	Merah orange
18.1 - 34	VII	Sidayu, Ujung Pangkah, Dukun, Manyar, Panceng, Duduk sampeyan, Kebomas, Gresik, Cerme.	Orange Kekuningan
9,21-18	VI	Benjeng, Balong Panggang, Menganti, Cerme, Kedamean, Dukun, Panceng, Wringanom, Driyorejo	Kuning
7,86-9,2	V	Wringinanom	Biru muda

Zona dengan nilai PGA tertinggi, yaitu 34,1–43,9 %g, ditunjukkan oleh warna merah orange dan terkonsentrasi di sekitar wilayah episenter, terutama di Kecamatan Manyar, Bungah, serta sebagian Kecamatan Sidayu. Berdasarkan klasifikasi USGS, kisaran PGA tersebut termasuk dalam intensitas VIII MMI, yang menunjukkan potensi terjadinya kerusakan sedang hingga berat pada bangunan dengan kualitas konstruksi rendah serta meningkatnya risiko kerusakan pada infrastruktur. Sementara itu, wilayah bagian selatan Kabupaten Gresik, seperti Kecamatan Balongpanggang, Kedamean, Driyorejo, Wringinanom, dan Menganti didominasi oleh nilai PGA 9,21–18 %g yang setara dengan intensitas VI MMI. Adapun nilai PGA terendah, yaitu 7,86–9,2 %g, hanya dijumpai pada sebagian kecil wilayah Kecamatan Wringinanom yang ditunjukkan dengan warna biru muda. Pola distribusi tersebut menunjukkan adanya penurunan nilai PGA seiring bertambahnya jarak dari sumber gempa, namun pengaruh kondisi tapak yang diperhitungkan dalam model Cauzzi et al. (2008) menyebabkan variasi lokal sehingga wilayah di sekitar episenter diprediksi mengalami tingkat guncangan yang lebih tinggi dibandingkan hasil model Pousse et al. (2005).

4.6.3. Analisis Skenario ShakeMap Menggunakan Model Atenuasi Shoustari et al. (2018)

Selanjutnya, pemodelan skenario *ShakeMap* dilakukan menggunakan model atenuasi Shoustari et al. (2018) untuk memperoleh distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Gresik. Peta hasil pemodelan tersebut disajikan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Peta Skenario Shakemap di Kab. Gresik menggunakan model GMPE Shoustari

Berdasarkan Gambar 4.15, hasil pemodelan skenario ShakeMap menggunakan model atenuasi Shoustari et al. (2018) menunjukkan bahwa distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Gresik berada pada kisaran 14,2–56,2 %g. Sebagian besar wilayah Kabupaten Gresik, terutama Kecamatan Manyar, Bungah, Sidayu, Dukun, Ujungpangkah, Dudusampeyan, Kebomas, dan Gresik didominasi oleh nilai PGA 34,1–56,2 %g yang ditunjukkan

dengan warna merah orange pada peta. Berdasarkan hubungan antara nilai PGA dan intensitas *Modified Mercalli Intensity* (MMI) menurut USGS, kisaran PGA tersebut berkorelasi dengan intensitas VIII MMI, yang menunjukkan tingkat guncangan sangat kuat dan berpotensi menimbulkan kerusakan sedang hingga berat, terutama pada bangunan yang tidak dirancang sesuai kaidah bangunan tahan gempa. Tabel 4.11 berikut adalah Sebaran PGA perkecamatan hasil skenario *Shakemap* model GMPE Shoustari.

Tabel 4.11 Sebaran PGA Hasil Skenario *Shakemap* Model GMPE Shoustari

PGA Shoustari (% g)	Skala MMI	Kecamatan	Warna
34,1- 43.9	VIII	Bungah, Manyar, Sidayu, Gresik, Kebomas, Duduk Sampeyan, Ujung Pangkah, Dukun,	Merah orange
18.1 - 34	VII	Ujung Pangkah, Dukun, Panceng, Duduk sampeyan, cerme. Benjeng, Balong Panggang, Menganti, Cerme, Wringanom, Kedamean, Dukun, Panceng, , Driyorejo	Orange Kekuningan
9,21-18	VI	Wringanom	Kuning

Sementara itu, wilayah bagian selatan Kabupaten Gresik, seperti Kecamatan Balongpanggang, Benjeng, Kedamean, Menganti, Driyorejo, dan Wringinanom, umumnya berada pada kisaran 18,1–34 %g yang setara dengan intensitas VII MMI. Nilai PGA terendah, yaitu 14,2–18 %g, hanya dijumpai pada sebagian kecil wilayah Kecamatan Wringinanom yang ditunjukkan dengan warna kuning. Pola distribusi tersebut menunjukkan bahwa nilai PGA cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber gempa akibat proses atenuasi gelombang seismik, meskipun pengaruh kondisi tapak lokal tetap memberikan variasi terhadap tingkat guncangan di beberapa wilayah. Dibandingkan dengan model Pousse et al. (2005) dan Cauzzi et al. (2008), model Shoushtari et al. (2018) menghasilkan estimasi PGA yang lebih tinggi dan cakupan wilayah dengan intensitas VIII MMI yang lebih luas. Hal ini menunjukkan bahwa model Shoushtari memberikan prediksi guncangan yang lebih konservatif terhadap skenario gempa Mw 6,2 di Kabupaten Gresik.

4.7 Perbandingan Hasil Skenario *ShakeMap* Berdasarkan Model Atenuasi dengan *ShakeMap* BMKG

Setelah dilakukan pemodelan skenario *ShakeMap* menggunakan model atenuasi Pousse et al. (2005), Cauzzi et al. (2008), dan Shoushtari et al. (2018), langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil yang diperoleh dengan *ShakeMap* BMKG. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi perbedaan karakteristik distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang dihasilkan oleh masing-masing model atenuasi terhadap hasil pemodelan *ShakeMap* BMKG pada parameter gempa skenario yang sama. Melalui perbandingan tersebut dapat diketahui pengaruh pemilihan model atenuasi terhadap estimasi distribusi percepatan tanah maksimum di Kabupaten Gresik.

Analisis perbandingan dilakukan berdasarkan pola distribusi spasial PGA, rentang nilai PGA, serta tingkat intensitas guncangan yang dihasilkan oleh masing-masing model. Hasil perbandingan tersebut dirangkum pada Tabel 4.12 untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik prediksi setiap model atenuasi serta mengevaluasi perbedaan hasil pemodelan terhadap *ShakeMap* BMKG. Selain itu, perbandingan ini menjadi dasar dalam menginterpretasikan tingkat bahaya seismik di Kabupaten Gresik berdasarkan distribusi percepatan tanah maksimum yang dihasilkan oleh masing-masing model atenuasi.

Tabel 4.12 Perbandingan Model *Shakemap*

Model <i>Shakemap</i>	Rentang PGA (%g)	PGA Max (%g)	Intensitas Max (MMI)
BMKG	3–28	28	VI–VII
Pousse	9,31–32,3	32,3	VII
Cauzzi	7,86–43,9	43,9	VIII
Shoustari	14,2–56,2	56,2	VIII

Berdasarkan Tabel 4.12, hasil pemodelan skenario *ShakeMap* menggunakan model atenuasi Pousse et al. (2005), Cauzzi et al. (2008), dan Shoushtari et al. (2018) menunjukkan adanya perbedaan distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) meskipun seluruh model menggunakan parameter sumber gempa yang sama, yaitu magnitudo Mw 6,2, lokasi episenter, dan kedalaman hiposenter yang identik. Perbedaan tersebut terlihat pada rentang nilai PGA, nilai

PGA maksimum, serta distribusi spasial guncangan yang dihasilkan masing-masing model. Hal ini menunjukkan bahwa formulasi empiris setiap model atenuasi memiliki karakteristik yang berbeda dalam merepresentasikan hubungan antara magnitudo, jarak sumber gempa, kondisi tapak, dan amplitudo guncangan di permukaan tanah.

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa *ShakeMap* BMKG menghasilkan rentang PGA sebesar 3–28 %g dengan PGA maksimum 28 %g atau setara dengan intensitas VI–VII MMI. Model Pousse et al. (2005) menghasilkan rentang PGA 9,31–32,3 %g dengan PGA maksimum 32,3 %g, sedangkan model Cauzzi et al. (2008) menghasilkan rentang 7,86–43,9 %g dengan PGA maksimum 43,9 %g. Nilai tertinggi diperoleh pada model Shoushtari et al. (2018), yaitu 14,2–56,2 %g dengan PGA maksimum mencapai 56,2 %g, yang termasuk dalam kategori intensitas VIII MMI. Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan estimasi PGA dari *ShakeMap* BMKG menuju model Pousse, Cauzzi, dan Shoushtari.

Meskipun menghasilkan nilai PGA yang berbeda, keempat hasil pemodelan menunjukkan pola distribusi spasial yang relatif serupa. Nilai PGA tertinggi terkonsentrasi pada wilayah yang berada di sekitar episenter gempa, kemudian mengalami penurunan secara bertahap menuju bagian selatan Kabupaten Gresik. Pola tersebut mencerminkan proses atenuasi energi gelombang seismik selama perambatan dari sumber menuju lokasi pengamatan, di mana amplitudo gelombang akan semakin berkurang seiring bertambahnya jarak terhadap sumber gempa. Dengan demikian, faktor jarak terhadap episenter tetap menjadi pengontrol utama distribusi percepatan tanah maksimum pada seluruh model yang digunakan.

Perbedaan utama antar model terletak pada besarnya nilai PGA yang diprediksi serta luas wilayah yang mengalami guncangan tinggi. Model Pousse et al. (2005) menghasilkan distribusi PGA yang relatif lebih rendah dibandingkan dua model lainnya. Hal ini terlihat dari nilai PGA maksimum yang hanya mencapai 32,3 %g dan sebagian besar wilayah Kabupaten Gresik berada pada kisaran intensitas VI–VII MMI. Prediksi yang lebih rendah tersebut menunjukkan bahwa model Pousse memberikan pelemahan (atenuasi) gelombang yang relatif lebih besar

sehingga amplitudo guncangan yang diperkirakan di permukaan tanah menjadi lebih kecil. Dengan demikian, model ini menghasilkan distribusi guncangan yang lebih moderat dibandingkan model Cauzzi maupun Shoushtari.

Sebaliknya, model Cauzzi et al. (2008) memberikan estimasi PGA yang lebih tinggi dengan nilai maksimum mencapai 43,9 %g. Dibandingkan model Pousse, zona dengan PGA tinggi pada model Cauzzi memiliki cakupan wilayah yang lebih luas, terutama di sekitar wilayah Manyar, Bungah, Gresik, dan sekitarnya. Salah satu penyebabnya adalah model Cauzzi secara eksplisit mempertimbangkan pengaruh kelas situs (site class) berdasarkan nilai Vs30 melalui parameter SB, SC, dan SD. Dengan adanya faktor kondisi tapak tersebut, variasi karakteristik tanah di Kabupaten Gresik ikut memengaruhi besarnya percepatan tanah yang diprediksi sehingga menghasilkan distribusi PGA yang lebih tinggi dibandingkan model Pousse.

Model Shoushtari et al. (2018) menghasilkan estimasi PGA tertinggi di antara seluruh model yang digunakan, yaitu mencapai 56,2 %g dengan dominasi intensitas VIII MMI pada sebagian besar wilayah Kabupaten Gresik. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model Shoushtari memberikan prediksi guncangan yang lebih konservatif dibandingkan model lainnya. Selain menghasilkan PGA maksimum yang lebih besar, model ini juga memperlihatkan cakupan wilayah dengan PGA tinggi yang lebih luas sehingga potensi wilayah yang diperkirakan mengalami guncangan kuat menjadi lebih besar. Perbedaan ini menunjukkan bahwa persamaan empiris yang digunakan oleh Shoushtari memiliki karakteristik prediksi yang cenderung menghasilkan amplitudo guncangan lebih tinggi pada skenario gempa yang sama. Data selengkapnya untuk nilai PGA berdasarkan skenario pada tiap-tiap kecamatan dari 3 macam model GMPE tersebut diberikan pada tabel Lampiran 2.

Jika dibandingkan dengan *ShakeMap* BMKG, ketiga model atenuasi mampu mereproduksi pola umum distribusi guncangan, yaitu konsentrasi nilai PGA tinggi di sekitar episenter dan penurunan nilai PGA ke arah wilayah yang lebih jauh. Namun demikian, terdapat perbedaan pada besarnya nilai PGA yang diprediksi. *ShakeMap* BMKG menghasilkan PGA maksimum sebesar 28 %g,

sedangkan model Pousse menghasilkan 32,3 %g, yang nilainya relatif paling dekat dengan hasil BMKG. Sementara itu, model Cauzzi dan Shoushtari memberikan estimasi yang lebih tinggi sehingga menunjukkan kecenderungan menghasilkan prediksi yang lebih konservatif terhadap potensi guncangan.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan menunjukkan bahwa model Pousse et al. (2005) memberikan estimasi distribusi PGA yang paling mendekati hasil *ShakeMap* BMKG baik dari sisi rentang nilai maupun tingkat intensitas maksimum. Di sisi lain, model Cauzzi et al. (2008) menghasilkan estimasi yang berada di antara Pousse dan Shoushtari, sedangkan model Shoushtari et al. (2018) memberikan prediksi guncangan tertinggi. Perbedaan tersebut menegaskan bahwa pemilihan model atenuasi berpengaruh terhadap hasil estimasi percepatan tanah maksimum dan luas wilayah yang diprediksi mengalami guncangan tinggi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan lebih dari satu model atenuasi sangat penting dalam kajian bahaya seismik, karena setiap model memiliki karakteristik prediksi yang berbeda sesuai dengan data empiris dan formulasi matematis yang digunakan dalam pengembangannya. Oleh karena itu, hasil perbandingan ini dapat menjadi dasar dalam memilih model atenuasi yang paling sesuai untuk wilayah Kabupaten Gresik serta memberikan informasi yang lebih komprehensif dalam penyusunan peta bahaya seismik sebagai bagian dari upaya mitigasi risiko gempa bumi.

Berdasarkan tinjauan nilai PGA maksimum pada tingkat kecamatan (Lampiran 1), ketiga model GMPE menunjukkan pola yang relatif konsisten. Kecamatan Panceng merupakan wilayah dengan nilai PGA tertinggi, yaitu sebesar 7,71 %g berdasarkan model Pousse et al. (2005), 6,38 %g berdasarkan model Cauzzi et al. (2008), dan 13,49 %g berdasarkan model Shoushtari et al. (2018). Sebaliknya, Kecamatan Driyorejo memiliki nilai PGA terendah, masing-masing sebesar 4,28 %g, 3,36 %g, dan 7,67 %g untuk ketiga model tersebut. Data selengkapnya mengenai nilai PGA maksimum setiap kecamatan berdasarkan data gempa historis disajikan pada Lampiran 1. Sementara itu, berdasarkan hasil pemodelan skenario gempa bumi 30 Desember 2024 berkekuatan M6,2 (Lampiran 2), nilai PGA tertinggi diperoleh di Kecamatan Manyar, yaitu sebesar 32,32 %g

(Pousse et al., 2005), 43,86 %g (Cauzzi et al., 2008), dan 55,92 %g (Shoushtari et al., 2018). Adapun nilai PGA terendah berada di Kecamatan Wringinanom, yaitu masing-masing sebesar 10,50 %g, 9,17 %g, dan 18,47 %g. Rekapitulasi nilai PGA maksimum tiap kecamatan berdasarkan skenario gempa bumi M6,2 disajikan pada Lampiran 2.

Tingginya nilai PGA di Kecamatan Panceng pada data historis serta Kecamatan Manyar pada skenario gempa menunjukkan bahwa kedua wilayah tersebut memiliki potensi mengalami guncangan tanah yang lebih kuat dibandingkan kecamatan lainnya. Selain dipengaruhi oleh karakteristik sumber gempa dan jarak terhadap episenter, besarnya nilai PGA juga berkaitan dengan kondisi geologi dan karakteristik tapak setempat. Berdasarkan peta geologi dan distribusi nilai Vs30, wilayah yang didominasi oleh endapan aluvial dan sedimen Kuarter umumnya memiliki nilai Vs30 yang lebih rendah sehingga berpotensi mengalami amplifikasi gelombang seismik yang lebih besar. Sebaliknya, wilayah yang tersusun oleh batuan yang lebih kompak dengan nilai Vs30 lebih tinggi cenderung menghasilkan amplifikasi yang lebih kecil sehingga tingkat guncangan yang diterima relatif lebih rendah.