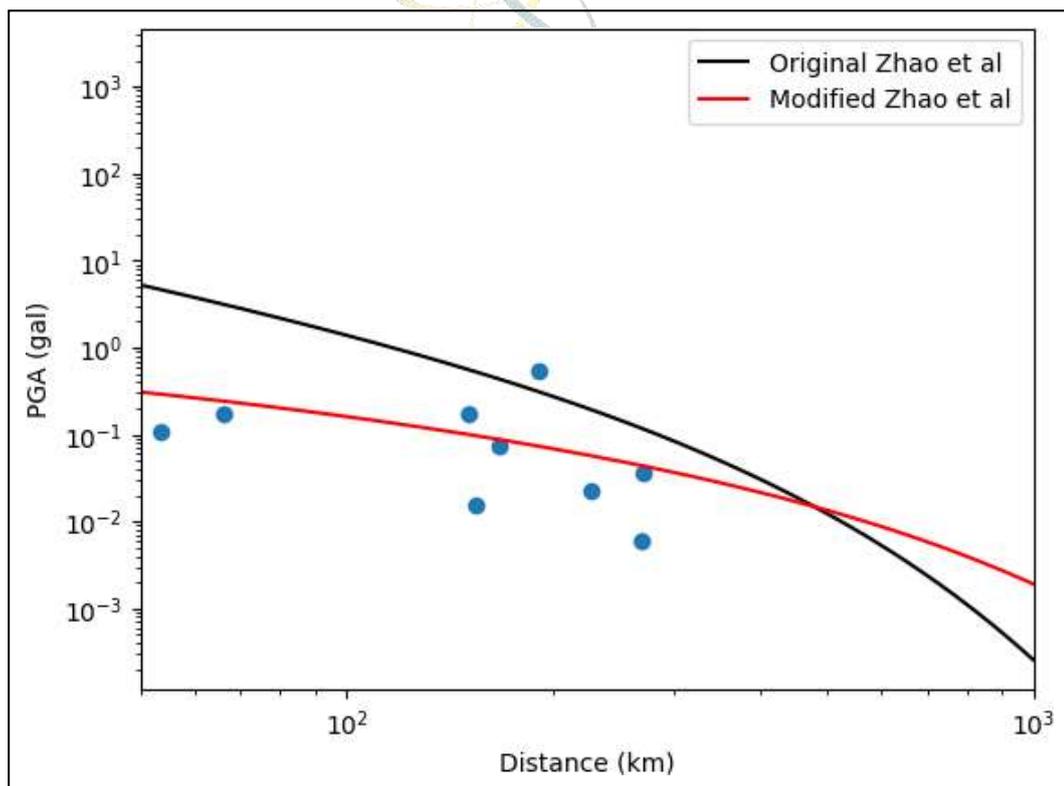


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hubungan Antara Nilai PGA (*Peak ground Acceleration*) dengan Parameter Jarak Pada Wilayah Sumatera Utara

PGA (*Peak ground Acceleration*) adalah sebuah parameter yang digunakan untuk menggambar sebuah dampak yang diakibatkan oleh gempa bumi. Penggunaan fungsi atenuasi untuk hubungan nilai PGA dengan jarak ke pusat gempa masih menunjukkan hubungan nonlinier dengan penurunan nilai PGA, namun sebaran datanya tersebar dengan selisih nilai maksimum dan minimum yang besar. Seiring bertambahnya jarak dari lokasi pengukuran episentrum gempa.

PGA dipengaruhi oleh jarak dari episenter gempa. Pada jarak yang sangat dekat, PGA biasanya sangat tinggi. Namun, seiring dengan bertambahnya jarak dari episenter, PGA akan menurun karena energi seismik teredam oleh media tanah.



Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Antara Nilai PGA dengan *Distance* (Fungsi Atenuasi Zhou dkk, 2006)

Berdasarkan grafik 4.1 terlihat bahwa semakin dekatnya jarak suatu gempa maka semakin besar nilai PGA yang didapatkan, sebaliknya nilai PGA akan kecil didapatkan bila jarak suatu gempa jauh. Besar kecilnya nilai PGA yang didapat tergantung pada jarak gempa terhadap lokasi dan kondisi atau struktur permukaan tanah dari lokasi yang ditinjau (Firdausyiah N., 2022). Meskipun jarak dari episenter gempa merupakan faktor utama dalam menentukan PGA, kondisi permukaan tanah dan struktur geologi lokal berperan penting dalam memodifikasi intensitas getaran yang dirasakan di lokasi tertentu. Oleh karena itu, analisis yang mendalam tentang karakteristik tanah dan struktur permukaan sangat penting untuk mendapatkan gambaran yang akurat tentang dampak gempa bumi pada berbagai lokasi.

Untuk mengurangi resiko gempa bumi, memahami hubungan antara PGA dan jarak sangat penting. Informasi ini dapat digunakan untuk merancang bangunan yang lebih tahan gempa, menetapkan zona evakuasi, dan membuat kebijakan pembangunan yang lebih aman di wilayah yang rawan gempa. Pendapat ini sesuai dengan rumusan dari Zhou, dkk (2006) yang dimana semakin dekat suatu event gempabumi terhadap titik gempa maka nilai PGA yang diperoleh bernilai tinggi/besar. Sebaliknya untuk jarak yang jauh dari sumber gempa maka nilai PGA yang didapat kecil. Hal ini membuktikan bahwa hubungan antara Jarak (*Distance*) terhadap PGA (*Peak Ground Acceleration*) berbanding terbalik.

Berdasarkan lampiran 3 (tiga) dapat dilihat bahwa:

- 1) Nilai determinasi atau Adjusted R square pengaruh antara Jarak terhadap PGA (gals) adalah sebesar 0,65 atau 65%. Hal ini berarti bahwa PGA (gals) dapat dijelaskan oleh variabel Jarak. Selebihnya 35% dapat dijelaskan oleh parameter kedalaman, magnitudo, latitude dan longitude.
- 2) Nilai dari MSE (*Mean Square Error*) pengaruh antara variabel Jarak terhadap PGA (gals) adalah sebesar 7,89. Hal ini berarti bahwa PGA (gals) baik dan memiliki hubungan yang bagus.
- 3) Nilai dari RMSE (*Root Mean Squared Error*) pengaruh antara Jarak terhadap PGA (gals) adalah sebesar 2,81. Hal ini berarti bahwa PGA (gals) memiliki nilai RMSE yang baik dan dapat diterima.

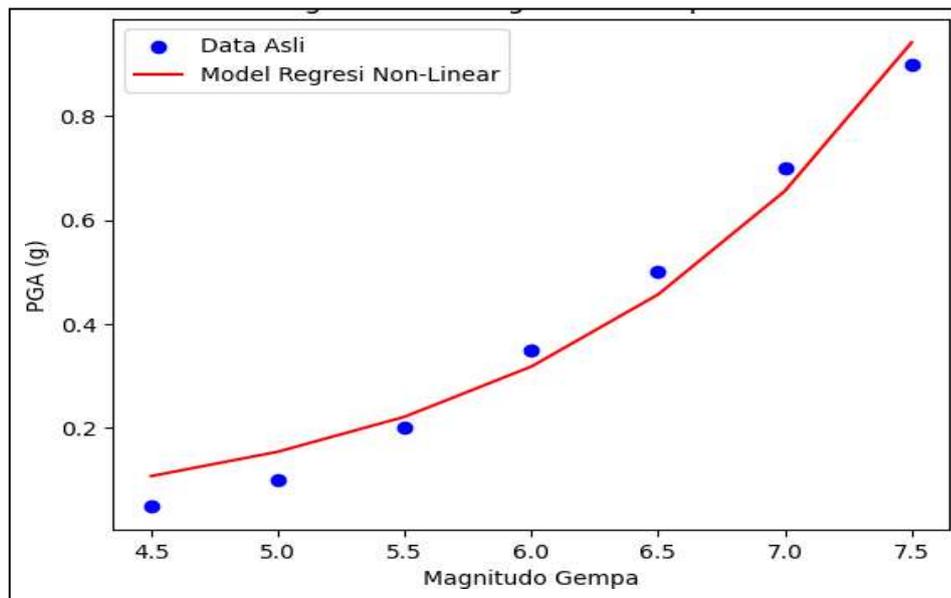
- 4) Nilai dari MAE (*Mean Absolute Error*) pengaruh antara Jarak terhadap PGA (gals) adalah sebesar 0,61. Hal ini berarti bahwa PGA (gals) sangat baik dan memiliki hubungan yang bagus dengan variabel Jarak.
- 5) Nilai dari STD (*Standard Deviation*) pengaruh antara Jarak terhadap PGA (gals) adalah sebesar 2,77. Hal ini berarti bahwa PGA (gals) memiliki nilai standar deviasi yang rendah dan data yang tersebar tidak terlalu jauh dari nilai rata-rata.

#### **4.2 Hubungan Parameter Magnitudo Terhadap Nilai PGA Pada Wilayah Sumatera Utara**

Magnitudo, yang biasanya diukur dengan skala Richter atau skala Moment Magnitude ( $M_w$ ), adalah ukuran dari energi yang dilepaskan oleh gempa bumi. Semakin besar magnitudo gempa, maka semakin banyak energi yang dilepaskan. Jarak dari pusat gempa (epicenter) mempengaruhi intensitas getaran yang dirasakan di permukaan. Intensitas gempa biasanya diukur menggunakan skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*). Semakin jauh dari pusat gempa, biasanya intensitas getarannya berkurang. Namun, ini juga dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat dan jalur perambatan gelombang seismik. Saat gelombang seismik merambat, energinya berkurang dengan jarak. Ini dikenal sebagai peredaman (*attenuation*).

Pada umumnya, intensitas getaran berkurang seiring dengan bertambahnya jarak dari pusat gempa. Penurunan intensitas getaran biasanya mengikuti aturan empiris seperti hukum kuadrat terbalik, di mana intensitas getaran berkurang dengan kuadrat dari jarak. Untuk gempa dengan magnitudo yang lebih besar, energi yang dilepaskan lebih besar dan gelombang seismik dapat merambat lebih jauh sebelum intensitasnya menurun secara signifikan.

Semakin besar magnitudo gempa, semakin besar pula energi yang dilepaskan dan semakin besar potensi untuk PGA yang tinggi di lokasi yang dekat dengan epicenter. Hubungan ini bisa digambarkan secara empiris dengan model matematis.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Magnitudo dengan PGA

Berdasarkan gambar 4.2 dapat dilihat bahwa hubungan antara Magnitudo dengan nilai PGA pada gempa adalah semakin besar nilai PGA pada gempa bumi maka nilai magnitudonya semakin besar. Model empiris sering digunakan untuk menggambarkan hubungan antara magnitudo gempa dan PGA. Pada penelitian ini digunakan model empiris regresi non-linier dengan metode least squares. Hubungan antara magnitudo gempa dan PGA membantu dalam merancang struktur yang lebih tahan gempa dan meningkatkan perencanaan mitigasi risiko. Model empiris dan regresi non-linier dapat digunakan untuk menggambarkan dan memprediksi PGA berdasarkan magnitudo gempa, tetapi penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mempengaruhi hasil pengukuran gempa di lapangan seperti kedalaman gempa, dan geologi tanah setempat.

Kondisi geologi setempat, seperti jenis tanah dan struktur batuan, dapat mempengaruhi gelombang seismik merambat dan intensitasnya dirasakan di berbagai jarak. Pada tanah lunak cenderung memperkuat gelombang seismik, sehingga getaran dapat dirasakan lebih kuat di daerah dengan tanah lunak dibandingkan dengan daerah yang memiliki batuan keras.

Pada lampiran 3 uji asumsi heteroskedastisitas dapat diartikan bahwa hubungan variabel jarak dengan variabel Resultan Horizontal PGA (gals) untuk nilai residual dengan asumsi heteroskedastisitas melalui penyebaran scatterplot menunjukkan bahwa:

1. Titik-titik data pada penelitian menyebar di atas angka 0 mengartikan bahwa model regresi cenderung nilai aktual dari variabel dependen. Ini berarti prediksi model lebih rendah dari nilai yang sebenarnya.
2. Titik-titik data pada penelitian menyebar di sekitar angka 0 hal ini mengartikan bahwa model regresi tidak memiliki bias sistematis dan mengestimasi nilai yang benar secara umum. Dengan kata lain, model prediksi bekerja cukup baik dalam menangkap pola data, dan error tidak menunjukkan pola khusus. Idealnya, residual harus tersebar secara acak di sekitar garis nol.
3. Titik-titik data pada penelitian menyebar di bawah angka 0 hal ini mengartikan bahwa model regresi cenderung lebih besar dari nilai aktual dari variabel dependen. Ini berarti prediksi model lebih tinggi dari nilai yang sebenarnya.

Pada scatterplot lampiran menunjukkan bahwa titik-titik menyebar dengan pola menyebar disekitar angka 0 menunjukkan bahwa model tidak memiliki bias sistematis dan cocok dengan data. Dan Mengindikasikan bahwa model sudah menangkap hubungan antara variabel independen dan dependen dengan baik.

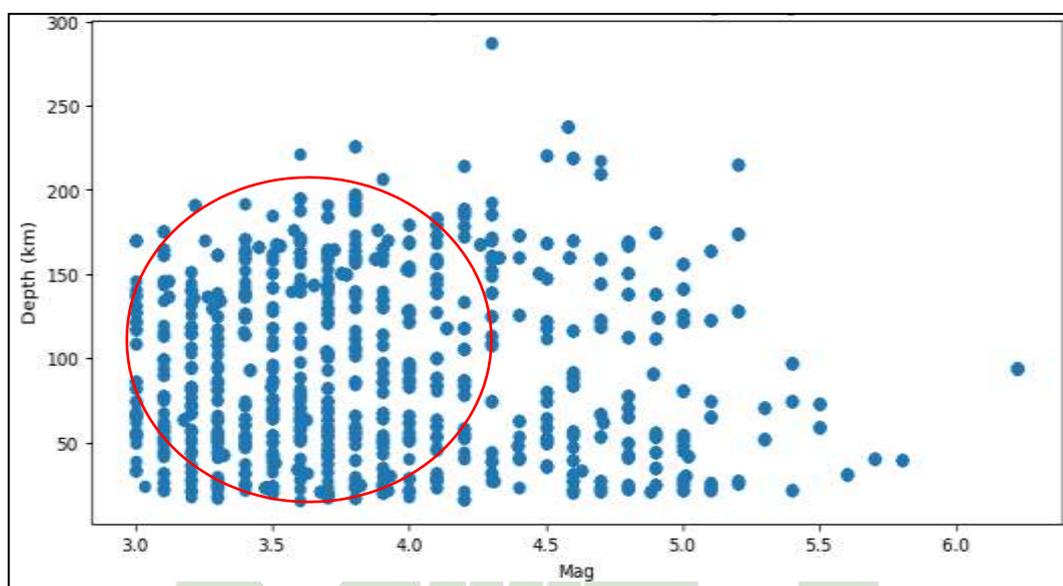
#### **4.3 Hubungan Parameter Kedalaman dengan Parameter Magnitudo Dari Sumber Gempa di Wilayah Sumatera Utara**

Kedalaman sumber gempa dapat mempengaruhi distribusi energi gempa di permukaan memiliki dampak signifikan terhadap besarnya magnitudo yang tercatat. Di wilayah Sumatera Utara, yang terletak di zona tektonik aktif hubungan antara kedalaman dan magnitudo gempa dapat memberikan wawasan penting tentang proses tektonik yang terjadi di bawah permukaan. Hal ini memberikan informasi yang berguna untuk upaya mitigasi bencana dan pengurangan risiko seismik di wilayah Sumatera Utara.

Kedalaman gempa dapat terjadi pada jarak vertikal dari permukaan bumi ke titik di dalam bumi di mana gempa terjadi atau sering dikenal dengan (*hiposenter*). Gempa dapat terjadi pada berbagai kedalaman, mulai dari permukaan bumi hingga ratusan kilometer di bawah permukaan. Dan magnitudo adalah ukuran dari energi

yang dilepaskan oleh gempa bumi. Magnitudo biasanya diukur menggunakan skala Richter atau skala Moment Magnitude ( $M_w$ ).

Secara umum, gempa yang terjadi pada kedalaman yang lebih besar cenderung memiliki energi yang lebih besar dan dapat menghasilkan magnitudo yang lebih tinggi. Hal ini karena tekanan dan suhu yang lebih tinggi di kedalaman yang lebih besar memungkinkan akumulasi energi yang lebih besar sebelum dilepaskan sebagai gempa. Gempa yang terjadi pada kedalaman yang lebih besar mungkin merambat melalui lebih banyak material sebelum mencapai permukaan, sehingga energi gempa dapat teredam lebih banyak.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Kedalaman dengan Magnitudo Dari Sumber Gempa (Fungsi Atenuasi Zhou dkk, 2006)

Berdasarkan gambar 4.3 dapat dijelaskan bahwa data cenderung berada pada kedalaman 50 – 150 km dengan magnitudo 3 – 4  $M_w$  dan pada data ini termasuk gempa yang tidak berpotensi menyebabkan kerusakan yang parah, tetapi dapat dirasakan oleh manusia terutama di daerah dekat epicentrum. Kedalaman gempa menengah ini membuat energi gelombang seismik mengalami disipasi lebih besar saat mencapai permukaan, sehingga efeknya tidak sekuat gempa dangkal dengan magnitudo yang sama.

Gempa dalam dapat dirasakan lebih luas karena gelombang seismik dapat merambat melalui bumi dengan lebih efisien pada kedalaman yang lebih jauh.

Meskipun gempa dalam bisa memiliki magnitudo yang besar, intensitas getaran di permukaan bumi mungkin lebih rendah dibandingkan dengan gempa dangkal dengan magnitudo yang sama karena efek peredaman dan jarak yang lebih jauh dari hiposenter ke permukaan.

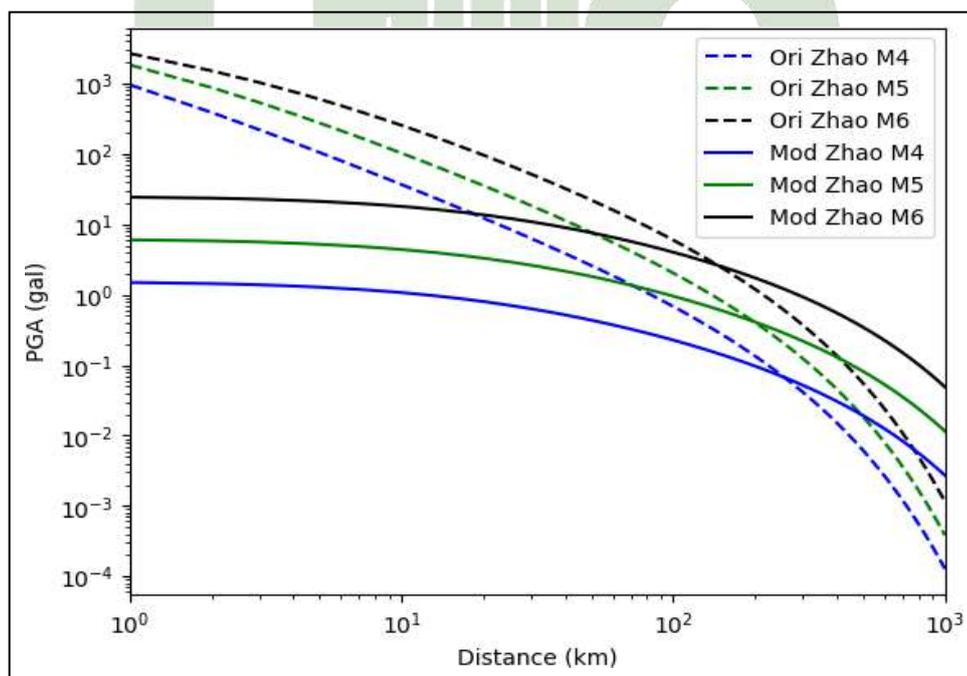
Pada lampiran 3 terlihat bahwa hubungan jarak dan magnitudo dengan PGA (gals) adalah:

1. Nilai koefisien korelasi hubungan antara PGA (gals) adalah sebesar 1,633. Hal ini mengartikan bahwa kekuatan hubungan antara variabel jarak dan magnitudo terhadap PGA (gals) adalah sangat kuat.
2. Nilai *mean* atau rata-rata korelasi hubungan antara PGA (gals) terhadap jarak adalah sebesar -1,916. Hal ini mengartikan bahwa memberikan informasi sesuai tujuan penelitian, termasuk penilaian risiko gempa, desain bangunan, dan penelitian seismologi.
3. Nilai minimum korelasi hubungan antara PGA (gals) dengan jarak dan magnitudo adalah sebesar -6,437. Sementara untuk nilai maksimum korelasi hubungan antara PGA (gals) adalah sebesar 4,707. Hal ini mengartikan bahwa untuk nilai minimum dan maksimum pada percepatan tanah maksimum (PGA) sangat penting dalam analisis seismik, karena keduanya memberikan batasan ekstrem dari intensitas getaran tanah yang bisa terjadi selama gempa. Mengetahui rentang ini membantu dalam berbagai aplikasi, termasuk penilaian risiko gempa, desain bangunan tahan gempa, dan mitigasi bencana.
4. Nilai pada kuartil pertama (Q1) sebesar +3,042, kuartil kedua (Q2) -2,053, dan kuartil ketiga (Q3) -0,936, pada korelasi hubungan antara PGA (gals) terhadap jarak dan magnitudo mengartikan bahwa menghitung dan memahami nilai kuartil memberikan wawasan mendalam tentang distribusi data PGA.

#### **4.4 Perbandingan Nilai PGA BMKG dengan Nilai PGA Zhao dkk (2006) Pada Wilayah Sumatera Utara**

Perbandingan antara nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang dihasilkan oleh BMKG dengan nilai PGA yang diprediksi oleh formula empiris

Zhao dkk, (2006) di wilayah Sumatera Utara merupakan langkah penting dalam mengevaluasi akurasi model prediksi gempa bumi di Indonesia. BMKG menggunakan data instrumental dari stasiun seismik lokal untuk mengukur langsung nilai PGA yang dihasilkan oleh gempa bumi. Sementara itu, model Zhao dkk, (2006) merupakan model empiris yang dikembangkan berdasarkan data gempa dari berbagai wilayah di dunia, termasuk Asia Tenggara, dan memperhitungkan parameter seperti magnitude gempa, jarak episentral, dan kondisi tanah. Dengan melakukan perbandingan ini, peneliti dapat mengevaluasi sejauh mana model Zhao dkk, (2006) dapat diaplikasikan untuk kondisi seismik spesifik di Sumatera Utara. Hasil dari perbandingan ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai akurasi dan reliabilitas model prediksi seismik internasional ketika diterapkan di wilayah dengan karakteristik geologis dan seismisitas tertentu seperti di Sumatera Utara. Untuk nilai PGA biasanya lebih tinggi pada jarak yang rendah dari episentrum, karena percepatan tanah yang dihasilkan oleh gempa bumi biasanya lebih kuat di dekat episentrum. Namun, jika jarak menjadi lebih jauh seperti 20-100 km nilai PGA biasanya menurun secara signifikan. Energi gelombang gempa meredam saat menyebar lebih jauh dari pusat gempa.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Formula Empiris Zhao, dkk (2006) dengan Formula Empiris Modifikasi Pada Wilayah Sumatera Utara

Berdasarkan gambar 4.4 dapat diartikan bahwa pada jarak antara 110 dan 230 km ada persimpangan garis, yang menunjukkan bahwa nilai PGA dari dua kurva atau model yang berbeda garis putus-putus dan garis utuh mungkin saling menyentuh atau mendekati satu sama lain. Pada jarak ini, hasil dari kedua persamaan atau model tersebut mungkin memberikan nilai PGA yang mendekati atau serupa.

Kurva atau persamaan yang digunakan dalam penelitian ini dari Zhao dkk, 2006 menunjukkan bagaimana distribusi percepatan tanah bervariasi dengan jarak dari episentrum. Garis putus-putus mewakili prediksi atau hasil dari studi mereka, sementara garis utuh adalah model atau rumusan yang peneliti gunakan. Semakin besar nilai PGA suatu wilayah maka semakin besar dampak dari resiko gempa bumi yang terjadi (Diyanti, 2010).

Untuk mengurangi resiko gempa bumi hubungan antara PGA dengan jarak diperlukan agar dapat dirancang bangunan yang tahan gempa menetapkan zona-zona evakuasi, serta mengembangkan kebijakan pembangunan yang lebih aman di daerah rawan. Dari hasil perhitungan dapat dijelaskan bahwa gempabumi yang terjadi diakibatkan oleh aktivitas lempeng Indo-Australia yang menunjam dibawah lempeng benua Eurasia dengan mekanisme sumber berupa sesar mendatar (*strike slip*). Dari data penelitian diketahui bahwa data yang diolah berupa data sekunder yang terekam oleh stasiun yang berada di sekitaran Pulau Sumatera.

Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan regresi non linier dengan metode least square berdasarkan persamaan Zhao, dkk (2006), diperoleh nilai konstanta baru untuk kejadian gempa bumi di wilayah Sumatera Utara adalah  $a = 1,4703$   $b = -0,0025$ ,  $c = 20,7441$ ,  $d = 0,0196$ ,  $e = 0,0015$ ,  $S_s = -2,0843$ , dan  $S_{SL} = -0,0529$ . Dari hasil perhitungan ini, maka didapat formula empiris adalah sebagai berikut:

$$\log (y) = 1,4703Mw - 0,0025R_{hypo} - inr + 0,0015(h - 15) - 2,0843 - 0,0529 \ln R_{hypo} + 20,7441 \quad (4.1)$$

Dapat dilihat dari persamaan 4.1 bahwa nilai harga percepatan tanah  $\log (y)$  dapat dinyatakan bahwa percepatan tanah dipengaruhi oleh resultan magnitudo dan jarak episenter. Semakin besar kekuatan magnitudonya maka

semakin jauh jarak gempa bumi, sehingga semakin besar pula nilai percepatan tanah yang terekam oleh alat *Accelerograph*.

Persamaan yang telah dikembangkan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi atau menghitung nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dengan mempertimbangkan berbagai parameter gempa bumi. Rumusan ini dirancang untuk memberikan estimasi akurat bagi gempa dengan magnitudo antara 3 – 6 Mw, dan mencakup jarak dari episenter gempa yang berkisar antara 50 – 600 km serta kedalaman gempa antara 50 – 300 km. Dengan menggunakan rumusan ini, para ahli dapat memperkirakan besarnya PGA yang mungkin terjadi berdasarkan variasi dalam magnitudo, jarak dari sumber gempa, dan kedalaman. Estimasi ini sangat penting dalam mitigasi risiko seismik, karena dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan konstruksi bangunan yang tahan gempa dan infrastruktur penting lainnya. Dan rumusan ini juga memberikan panduan kepada BMKG dalam pengambilan keputusan cepat saat terjadi gempa bumi, serta dalam pengembangan kebijakan penanggulangan bencana yang lebih efektif di wilayah yang rentan terhadap aktivitas seismik terutama di wilayah Sumatera Utara saat terjadi gempa bumi.

