

**ANALISIS PERGERAKAN TANAH BERDASARKAN *PEAK GROUND VELOCITY*  
(PGV) AKIBAT GEMPA BUMI DI LUWUK**

Lingkan Mantiri Paat Timbuleng<sup>1</sup>, Armstrong Sompotan<sup>2</sup>),  
Farly Tumimomor<sup>3</sup>)

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri  
Manado

Email : [lingkantimbuleng06@gmail.com](mailto:lingkantimbuleng06@gmail.com)

**ABSTRACT**

*Central Sulawesi is located between the boundaries of tectonic plates which are interconnected with one another. Some tectonic plates are located near Central Sulawesi, including the Indo-Australian plate, the Pacific plate, and the Eurasian plate. The interaction of these plates causes the formation of subduction and fault lines as locations that have the potential to become the center of an earthquake. Earthquakes at scale specific strength can cause infrastructure damage and fatalities. This has led to the importance of erecting earthquake resistant buildings based on the characteristics of ground motion which is Peak Ground Velocity and Ground Motion Prediction Equation method. The purpose of this study is to see the pattern of the relationship between Peak Ground Velocity and earthquake parameters, make an empirical equation of Peak Ground Velocity predictions and see the ground motion in the Luwuk area with coordinate 2,5°LS – 1,5°LU dan 119°BT - 127°BT used the Peak Ground Velocity and Ground Motion Prediction Equation method. The result shows the pattern is directly proportional to the relationship between earthquake parameters and the Peak Ground Velocity, and for the empirical equation obtained is  $\log (PGV) = -3.8873 + 1.026975 \times M - 1.34171 \times \log (R + 17)$ .*

*Keywords: Peak Ground Velocity method, Ground Motion Prediction Equation, Central Sulawesi, Earthquake Parameters*

**PENDAHULUAN**

Indonesia adalah daerah yang memiliki seismitas tinggi dikarenakan terletak pada batas pertemuan empat lempeng besar tektonik yang aktif yakni Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan satu lempeng mikro yaitu Lempeng Filipina. Keberadaan ini membuat Indonesia baik di darat maupun di laut menjadi daerah yang rawan bencana alam seperti gempa-gempa tektonik bahkan tsunami. Berdasarkan kajian seismotektonik Pulau Sulawesi oleh Katili (1973), ditunjukkan bahwa Pulau Sulawesi sangat labil karena dilintasi patahan kerak bumi Lempeng pasifik dan merupakan titik tumbukan antara Lempeng Asia, Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik. Daerah yang rawan terjadi gempa di Sulawesi antara lain Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara.

Secara geografis, Sulawesi Tengah bagian Utara berbatasan dengan Laut Sulawesi

dan Gorontalo, bagian Timur berbatasan dengan Maluku, bagian Selatan berbatasan dengan Sulawesi Barat dan Sulawesi Selatan, dan bagian Tenggara berbatasan dengan Sulawesi Tenggara, serta bagian barat berbatasan dengan Selat Makasar. Sulawesi Tengah terletak di antara batas-batas lempeng tektonik yang saling berinteraksi satu sama lain. Interaksi lempeng-lempeng ini menyebabkan terbentuknya jalur subduksi dan sesar sebagai lokasi yang berpotensi menjadi pusat gempa bumi.

Berdasarkan data BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) (2019), tercatat pada tahun 2019 total gempa yang terjadi di wilayah Sulawesi Tengah berjumlah 1.099, dengan total gempa yang dirasakan berjumlah 84.

Pada skala kekuatan tertentu, gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur di permukaan bumi. Kerusakan infrastruktur ini juga dapat menyebabkan korban jiwa. Sebagai upaya pengurangan dampak gempa bumi telah

banyak dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana membangun bangunan tahan gempa. Pendirian bangunan tahan gempa didasarkan pada karakteristik gerakan tanah (*Ground Motion*) akibat gempa bumi.

Setiap daerah memiliki karakteristik gerakan tanah yang berbeda-beda. Setidaknya ada tiga parameter utama dari gerakan tanah untuk perhitungan tingkat bahaya gempa bumi suatu daerah. Tiga parameter tersebut yaitu percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*), kecepatan tanah maksimum (*Peak Ground Velocity*), dan perpindahan tanah maksimum (*Peak Ground Displacement*). Berdasarkan beberapa penelitian menyebutkan bahwa dari ketiga parameter tersebut yang berhubungan dengan dampak gempa bumi adalah PGA dan PGV.

Hingga saat ini telah banyak penelitian yang menghasilkan rumusan empiris prediksi PGA. Namun demikian, masih sedikit penelitian yang mengkaji rumusan empiris prediksi PGV dalam kaitannya dengan potensi dampak terburuk guncangan gempa bumi di suatu daerah. Oleh karena itu, pada studi ini dilakukan kajian untuk merumuskan persamaan empiris prediksi PGV dari data rekaman sinyal gempa bumi di Stasiun Seismik Luwuk untuk menganalisa pergerakan tanah di Luwuk.

Hasil penelitian yang berupa persamaan empiris prediksi PGV diharapkan dapat digunakan untuk menghitung potensi dampak terburuk guncangan gempa bumi yang mungkin terjadi di Luwuk sehingga bisa dilakukan upaya mitigasi dengan memperkuat struktur bangunan sesuai dengan standar bangunan tahan gempa hasil perhitungan PGV tersebut.

## KAJIAN TEORI

Gempa bumi adalah getaran atau serentetan getaran dari kulit bumi yang bersifat tidak abadi atau sementara dan kemudian menyebar ke segala arah (Howel, 1969). Gempa bumi juga merupakan getaran asli dari dalam bumi, bersumber di dalam bumi, dan kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi yang pecah dan bergeser keras. Penyebab dari gempa bumi tersebut antara lain adanya aktivitas tektonik, maupun aktivitas vulkanik.

Boltz dalam Basuki, dkk (2009) mengemukakan bahwa gunungapi dan gempa bumi tektonik memiliki korelasi yang erat dengan proses yang terjadi dalam suatu lempeng tektonik dan keduanya memiliki interaksi dalam jangka panjang.

Parameter sumber gempa bumi meliputi:

### 1. Episenter

Episenter merupakan pusat gempa yang berada di bagian permukaan. Episenter merupakan titik sumber gempa yang diproyeksikan vertikal ke permukaan bumi. Episenter diperlukan biasanya untuk melihat kerusakan yang terjadi. Titik dimana episenter berada merupakan daerah yang mengalami kerusakan terbesar.

### 2. Hiposenter

Hiposenter adalah titik sumber gempa yang berada di dalam bumi. Hiposenter diukur menggunakan gelombang seismik. Tekanan yang ada di dalam bumi akan menyebabkan lapisan bumi bergetar, dan menghasilkan hiposenter. Gempa tektonik maupun vulkanik pasti memiliki hiposenternya. Semakin dekat hiposenter maka gempa akan semakin terasa dan kerusakan yang ditimbulkan akan semakin besar.

### 3. Waktu Kejadian Gempa Bumi (*Origin Time*)

*Origin Time* adalah waktu terjadinya peristiwa gempa bumi yang dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan WIB atau UTC (*Universal Time Coordinated*).

### 4. Magnitudo

Magnitudo adalah suatu besaran yang menyatakan besarnya energi yang dilepaskan suatu gempa di pusatnya. Dalam proses perhitungan percepatan tanah, magnitudo yang sering digunakan adalah magnitudo permukaan. Hal ini dikarenakan percepatan tanah yang dihasilkan dari rekaman accelerograf, biasanya diakibatkan adanya dominasi dari gelombang permukaan. Di Indonesia khususnya, BMKG dalam melakukan perhitungan magnitudo, biasanya menggunakan magnitudo lokal dan magnitudo gelombang badan

### 5. Skala Richter

Skala Richter adalah ukuran yang digunakan untuk menggambarkan besarnya kekuatan gempa dengan cara mengukur gelombang seismik

penyebab gempa. Adapun berdasarkan KBBI, Skala Richter adalah skala yang digunakan untuk memperlihatkan besarnya kekuatan gempa.

#### 6. *Modified Mercalli Intensity* (MMI)

Skala Mercalli adalah satuan untuk mengukur kekuatan gempa bumi. Skala Mercalli terbagi menjadi 12 pecahan berdasarkan informasi dari orang-orang yang selamat dari gempa tersebut dan juga dengan melihat serta membandingkan tingkat kerusakan akibat gempa bumi tersebut

Menurut Kaharuddin (2011), Pulau Sulawesi terletak pada zona pertemuan diantara tiga pergerakan lempeng besar yaitu pergerakan lempeng Hindia Australia dari selatan dengan kecepatan rata 7 cm/tahun, lempeng Pasifik dari timur dengan kecepatan sekitar 6 cm/tahun dan lempeng Asia bergerak relatif pasif ke tenggara. Posisi Sulawesi yang berada pada kawasan lempeng tektonik *microplate* sangat rawan terhadap gerakan dan benturan ketiga lempeng bumi tersebut yang akan menimbulkan fenomena geologi dan dampak merugikan pada kehidupan manusia, terutama ancaman gempa dan tsunami yang disetiap saat dapat terjadi. Perkembangan tektonik di kawasan Pulau Sulawesi berlangsung sejak zaman Tersier hingga sekarang, sehingga Pulau Sulawesi termasuk daerah yang paling aktif di Indonesia dan mempunyai fenomena geologi yang kompleks dan rumit.

Daerah Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah rawan bencana gempa bumi di Indonesia (Supartoyo dan Surono, 2008), karena terletak dekat dengan sumber gempa bumi yang berada di darat dan di laut. Sumber gempa bumi di laut berasal dari penunjaman Sulawesi Utara yang terletak di sebelah utara Pulau Sulawesi, sedangkan sumber gempa bumi di darat bersumber dari beberapa sesar aktif di daratan Sulawesi Tengah, salah satunya Sesar Palu Koro.

Sulawesi Tengah dan wilayah Sulawesi secara keseluruhan bukanlah daerah yang sepi gempa. Bahkan beberapa gempa yang pernah terjadi di wilayah ini telah menyebabkan tsunami. Jadi secara tektonik, wilayah ini terletak pada zona tektonik aktif yang menjadi sumber terjadinya gempa bumi. Sesar Palu-Koro

merupakan bukti keaktifan Tektonik di Sulawesi Tengah.

Pergerakan tanah dalam gempa bumi mengacu pada getaran tanah yang disebabkan oleh peristiwa gempa bumi. Salah satu efek yang ditimbulkan pada suatu tempat ketika terjadi gempa bumi adalah pergerakan tanah pada permukaan. Pergerakan tanah yang terjadi di suatu daerah dapat dijadikan bahan acuan dalam mengidentifikasi intensitas gempa yang terjadi di daerah tersebut, penyebaran pergerakan kecepatan tanah, dan dapat memprediksi intensitas dan magnitude terjadinya gempa bumi pada waktu yang akan datang sehingga resiko yang ditimbulkan dapat diantisipasi misalnya untuk pendirian atau penyediaan bangunan tahan gempa untuk daerah tersebut.

Parameter yang sering digunakan sebagai representasi dari estimasi kekuatan pergerakan pada saat terjadi gempa bumi adalah PGA. Tetapi ada juga satu parameter alternatif yang dapat digunakan untuk karakterisasi respon ground selain data PGA yaitu *Peak Ground Velocity* (PGV). Semakin besar nilai PGV pada suatu wilayah, maka akan semakin besar pula kerusakan yang terjadi di wilayah tersebut.

*Peak Ground Velocity* atau kecepatan getaran tanah maksimum adalah nilai kecepatan getaran tanah terbesar pada permukaan yang pernah terjadi di suatu wilayah atau daerah dalam suatu periode tertentu akibat getaran gempa bumi (Lantu, 2012).

PGV dibedakan menjadi dua yakni PGV observasi dan PGV empiris. PGV observasi merupakan nilai kecepatan maksimum tanah yang langsung diperoleh dari hasil pencatatan *seismometer* sedangkan PGV empiris merupakan nilai kecepatan maksimum tanah yang diperoleh dengan melakukan perhitungan rumus dengan menurunkan fungsi percepatan.

Untuk menghitung nilai kecepatan getaran tanah maksimum atau PGV komponen horizontal dan jarak dari sumber gempa bumi ke stasiun (*source-to-site distance*). Untuk menentukan jarak dari sumber ke stasiun tersebut dilakukan dengan menggunakan rumus segitiga bola dengan bentuk rumus sebagai berikut :

$$R = \sqrt{(Xh - Xs)^2 + (Yh - Ys)^2 + (Zh - Zs)^2}$$

Dimana :

- $X_s = r * \cos \phi_s * \cos \theta_s$
- $Y_s = r * \cos \phi_s * \sin \theta_s$
- $Z_s = r * \sin \phi_s$
- $Z_h = (r-h) * \sin \phi_h$
- $X_h = (r-h) * \cos \phi_h * \cos \theta_h$
- $Y_h = (r-h) * \cos \phi_h * \sin \theta_h$
- $\phi_s$  = lintang stasiun
- $\phi_h$  = lintang hiposenter
- $\theta_s$  = bujur stasiun
- $\theta_h$  = bujur hiposenter
- $r$  = jari-jari bumi (6371 km)

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix}; \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}; \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

Estimator model (2) dapat dicari menggunakan metode kuadrat terkecil dan hasilnya adalah  $\hat{Y} = X\hat{\beta}$   $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$ . Selanjutnya model yang telah terbentuk dilakukan uji kesesuaian model untuk mengetahui apakah semua variabel prediktor secara bersama-sama mempunyai pengaruh terhadap variabel respon (Ghozali, 2009). Uji hipotesisnya adalah:

- $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$  (Model tidak sesuai)
  - $H_1$ : minimal ada  $\beta_k \neq 0$ , dimana  $k = 1, 2, \dots, p$  (Model sesuai)
- Statistik uji:

$$F_{hitung} = \frac{JKR/p}{JKG/(n-p-1)} \tag{3}$$

Dengan  $JKR = \sum (\hat{y} - \bar{y})^2$  dan  $JKG = \sum (y_i - \hat{y})^2$ .  $H_0$  ditolak jika atau  $\text{sig} < \alpha$  atau  $F_{hitung} > F_{\alpha; p; (n-p-1)}$

*Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) adalah persamaan matematis yang dikembangkan untuk memperkirakan nilai *strong ground motion* disuatu tempat. Persamaan ini diperoleh dari analisa empiris dengan mempertimbangkan beberapa parameter seperti magnitudo, jarak titik gempa, dan kedalaman yang semuanya dikumpulkan dalam database *strong motion*. Model hubungan atenuasinya adalah

$$\lg Y = c_1 + c_2 M + c_3 \lg(R + R_0) + \epsilon$$

Dimana :

- $Y$  = *peak ground velocity* (PGV) (m/s)
- $M$  = magnitudo
- $R$  = jarak episenter (km)
- $c_1, c_2, c_3, R_0$  = konstanta, diperoleh dari analisis regresi
- $\epsilon$  = kuantitas acak dari distribusi normal dengan rata-rata adalah 0

Regresi linier multivariabel adalah regresi linier dengan satu variabel respon dan beberapa variabel prediktor. Regresi linier multivariabel dikenal dengan regresi regresi linier berganda atau regresi linier multipel. Misalkan diberikan n observasi (sampel dengan ukuran n), Maka model regresi linier mutivariabel

$$(X_{11}, X_{21}, \dots, X_{p1}; Y_1), (X_{12}, X_{22}, \dots, X_{p2}; Y_2), \dots, (X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{pn}; Y_n)$$

dapat ditulis:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ji} + \epsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \tag{1}$$

dengan,

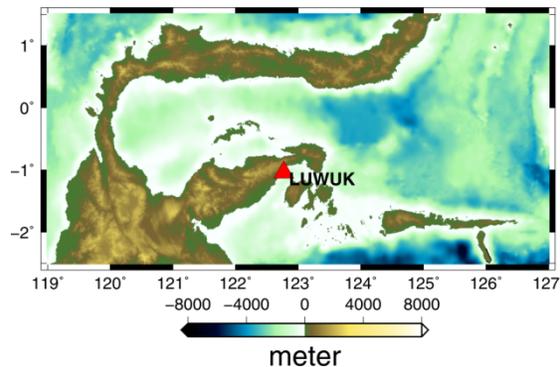
- $\beta_0$  : *Intersep*
- $y_i$  : Variabel respon pengamatan ke -i
- $x_{ji}$  : Variabel prediktor ke -j untuk pengamatan ke -i
- $\beta_j$  : Koefisien regresi pada variabel  $x_j$
- $\epsilon_i$  : Residual dengan asumsi  $\epsilon \sim NID(0, \sigma^2)$ .

Persamaan (1) jika ditulis dalam persamaan matriks sebagai

$$Y = X\beta + \epsilon \tag{2}$$

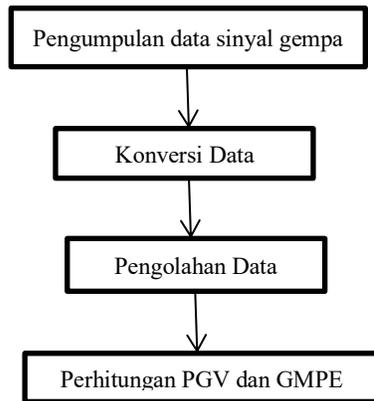
### METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi yang akan digunakan sebagai lokasi penelitian adalah Kota Luwuk, Provinsi Sulawesi Tengah dengan letak koordinat 2,5° LS-1,5° LU dan 119° BT-127° BT Data rekaman sinyal gempa bumi diperoleh dari Kantor BMKG Stasiun Geofisika Manado.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk menganalisa getaran tanah adalah *Peak Ground Velocity* (PGV) dan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE). PGV adalah kecepatan getaran maksimum yang terjadi pada suatu daerah sebagai akibat dari gempa bumi. Nilai PGV mempengaruhi seberapa besar resiko gempa yang akan terjadi dikemudian hari. Hubungan antara parameter gempa dengan nilai PGV dirumuskan menggunakan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE). Hasil dari metode ini akan didapatkan rumusan hubungan parameter gempa dengan PGV sehingga bisa memprediksi nilai PGV saat terjadi gempa.



**Gambar 2.** Diagram Alir Desain Penelitian

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini antara lain :

1. Untuk data historis gempa bumi diambil dengan cara mengunduh dari repositori gempa bumi BMKG
2. Untuk data pendukung berupa pola mekanisme gempa bumi diakses melalui web Global CMT.
3. Untuk data noise stasiun serta rekaman PGV diperoleh dari database Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika bidang Seismologi Teknik.

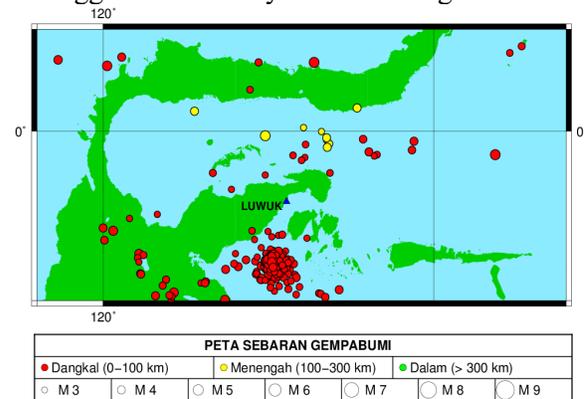
Prosedur pengolahan data dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahap pertama yang dilakukan adalah mengunduh database kejadian gempa bumi dengan parameter-parameter antara lain magnitudo, waktu kejadian gempa bumi, koordinat lokasi epicenter, dan kedalaman gempa bumi dari katalog BMKG. Database yang telah diunduh selanjutnya perlu di konversi. Setelah itu sebaran gempa bumi dari database tersebut dipetakan menggunakan software GMT versi 5.2.1. Dalam pemetaan tersebut ditampilkan juga koordinat stasiun seismograf di dalam lingkup wilayah penelitian berdasarkan dari database bidang Seismologi Teknik BMKG.

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai kecepatan getaran tanah maksimum atau PGV komponen horizontal dan jarak dari sumber gempa bumi ke stasiun (*source-to-site distance*). Kemudian langkah yang terakhir adalah perumusan GMPE untuk memperoleh rumusan hubungan parameter gempa dengan PGV.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

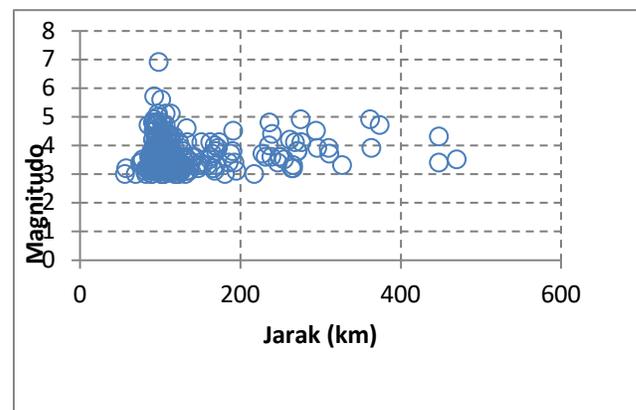
### A. Hubungan Antara PGV dengan Magnitudo dan Jarak Episenter

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data pada periode 1 April 2019 hingga 30 April 2019. Pada rentang periode tersebut diperoleh sebanyak 398 kejadian gempa bumi. Tidak semua gempa bumi tersebut gelombangnya terekam baik di seismometer yang ditempatkan di Luwuk. Setelah dilakukan analisa data lebih lanjut, maka didapatkan sebanyak 314 data gempa bumi yang gelombangnya terekam baik sehingga nilai PGV-nya bisa dihitung.



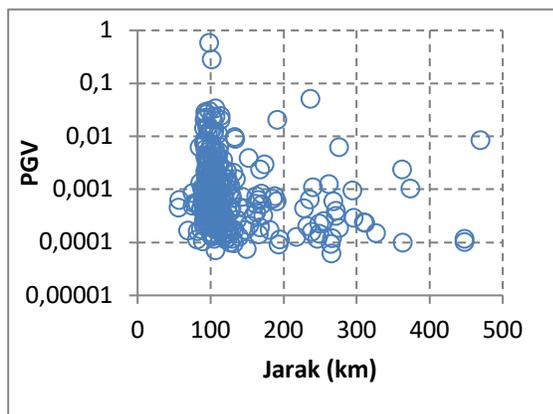
**Gambar 3.** Peta sebaran gempa bumi di sekitar Luwuk pada periode 1-30 April 2019

Batasan koordinat kejadian gempa bumi yang dianalisis pada penelitian ini berada di antara  $2,5^{\circ}$  LS- $1,5^{\circ}$  LU dan  $119^{\circ}$  BT- $127^{\circ}$  BT, dengan magnitudo yang bervariasi antara 3,0 hingga 6,9. Berdasarkan kedalamannya, gempa bumi yang terjadi didominasi oleh gempa dangkal dengan kedalaman antara 0-100 km.



**Gambar 4.** Hubungan Antara Magnitudo dan Jarak Episenter

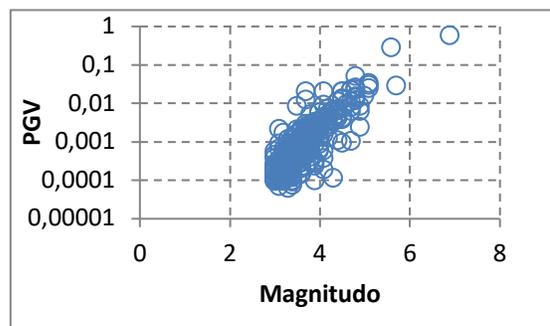
Pada Gambar 3 ditunjukkan peta sebaran episenter gempa bumi yang terjadi di sekitar Luwuk selama bulan April 2019. Pada Gambar 4 ditampilkan hubungan antara magnitudo dan jarak episenter gempa-gempa yang dianalisis ke Luwuk. Dapat dilihat bahwa sebagian besar gempa bumi yang terjadi di bulan April 2019 ini berada sekitar 100 km di selatan Luwuk, dengan jarak terdekat 57 km dan jarak terjauh hingga 470 km.



**Gambar 5.** Hubungan Antara Nilai PGV dengan Jarak

Pada Gambar 5 dapat dilihat pola hubungan antara nilai PGV dengan jarak episenter dimana pola pada umumnya yaitu semakin kecil nilai dari PGV maka berarti semakin jauh jarak dari pusat gempa ke stasiun pencatat. Namun demikian, ada sedikit anomali pada grafik tersebut. Ada salah satu event gempa yang memiliki nilai PGV tinggi dengan jarak episenter yang jauh. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh parameter magnitudo.

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6, magnitudo memiliki pengaruh yang kuat terhadap nilai PGV. Pola hubungan antara PGV dan magnitudo menunjukkan pola yang berbanding lurus, dengan semakin besarnya magnitudo gempa bumi yang terjadi semakin tinggi pula nilai PGV nya. Kejadian gempa bumi kuat tanggal 12 April 2019 dengan magnitudo 6,9 merupakan kejadian dengan catatan PGV tertinggi hingga mencapai 0,56 m/s.



**Gambar 6.** Hubungan Antara Nilai PGV dengan Magnitudo

### B. Persamaan Empiris Prediksi PGV Daerah Luwuk

Oleh karena tidak hanya satu aspek yang berpengaruh pada nilai PGV, maka dilakukan analisis regresi multivariabel untuk melihat bagaimana pengaruh masing-masing aspek, khususnya jarak episenter dan magnitudo terhadap nilai PGV. Hasilnya, nilai koefisien masing-masing variabel seperti yang ditunjukkan pada rumusan GMPE di Bab II adalah sebagai berikut :

$$C1 = -3.98873$$

$$C2 = 1.026975$$

$$C3 = -1.34171$$

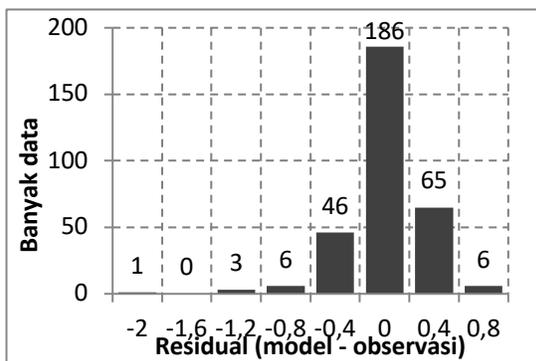
Berdasarkan nilai-nilai koefisien tersebut, maka dapat dirumuskan persamaan nilai PGV dari data rekaman gempa bumi di sekitar Luwuk pada periode April 2019 adalah seperti berikut :

$$\log PGV = -3.98873 + 1.026975 \times M - 1.34171 \times \log (R + 17)$$

Rumusan yang telah didapat tersebut dapat digunakan untuk memprediksi atau menghitung nilai PGV berdasarkan parameter gempa bumi khususnya magnitudo dan jarak episenter. Untuk mengetahui kehandalan rumusan ini dalam memprediksi nilai PGV di suatu tempat maka dilakukan perbandingan antara nilai hasil prediksi dengan nilai PGV observasi atau nilai PGV yang tercatat di suatu tempat. Hasilnya, nilai hasil prediksi PGV memiliki selisih yang relatif kecil dengan nilai PGV observasi.

Pada Gambar 7 ditunjukkan histogram nilai residual atau selisih antara data prediksi PGV atau data model dengan data observasi PGV yang berkisar antara -2.0 hingga 0.8.

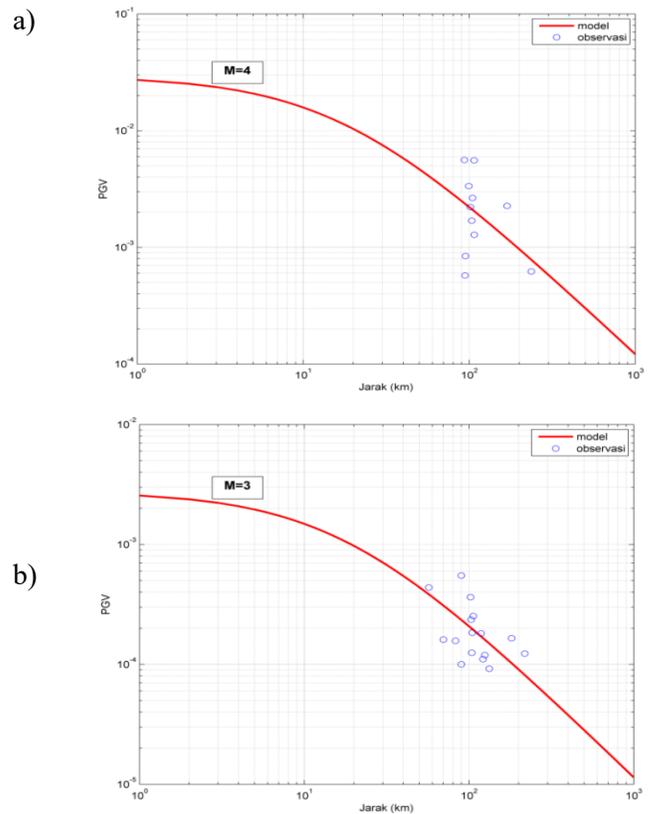
Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai residual tertinggi ada di nilai 0 sebanyak 186 data (59.43%). Hal ini menunjukkan bahwa nilai hasil prediksi dengan rumusan yang didapatkan sebagian besar sama dengan hasil observasi. Sementara itu, nilai standar deviasinya adalah 0.307.



**Gambar 7** Residual data observasi dengan data model

Meskipun persamaan yang telah dihasilkan tersebut dapat dengan baik memprediksi nilai PGV, namun dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa ada beberapa data yang memiliki nilai residual hingga lebih dari -1.0. Hal ini bisa memberikan nilai prediksi PGV yang cukup jauh dari nilai sebenarnya. Masih terdapatnya nilai residual yang cukup besar diperkirakan karena faktor sebaran data yang kurang merata terhadap jarak.

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5, rentang jarak episenter yang digunakan dalam perhitungan rumusan PGV hanya berkisar antara 57 hingga 470 km. Hal ini bisa mengurangi akurasi rumusan karena tidak adanya data kejadian pada jarak 0-57 km dan diatas 470 km. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa meskipun data observasi memiliki pola yang cukup sesuai dengan model pada magnitudo 3.0 namun pada magnitudo 4.0 ada beberapa data observasi yang tidak sesuai model.

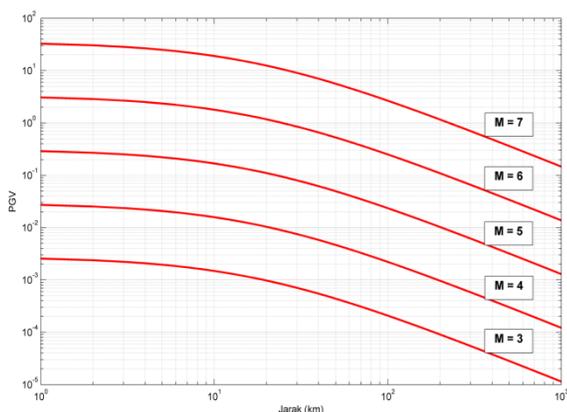


**Gambar 8.** Perbandingan antara PGV hasil pemodelan dan hasil observasi yang terekam di stasiun Luwuk dengan (a) magnitudo 3.0 dan (b) magnitudo 4.0.

### C. Model Pergerakan Tanah (PGV) di Luwuk

Berdasarkan rumusan PGV yang didapat sebelumnya, secara umum nilai PGV diperkirakan sangat dipengaruhi oleh jarak episenter dan magnitudo. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa gempa bumi dengan magnitudo 3.0 bisa menimbulkan PGV sekitar  $2 \times 10^{-3}$  pada jarak 1 km dari Kota Luwuk, dan menurun secara logaritmik hingga  $1 \times 10^{-5}$  pada jarak 1000 km. Sementara itu, gempa bumi dengan magnitudo 7.0 dengan jarak episenter 1 km bisa menggetarkan Luwuk hingga 30 m/s, sedangkan nilai PGV gempa bumi 7.0 dengan jarak episenter 1000 km diperkirakan sebesar  $10^{-1}$  m/s.

Kenaikan magnitudo gempa bumi sebesar 1.0 satuan pada jarak yang sama diperkirakan meningkatkan nilai PGV sekitar 10 kali lipat. Nilai model PGV dari gempa bumi magnitudo 4.0 pada jarak 1 km kurang lebih 10 kali model PGV gempa bumi magnitudo 3.0 dengan jarak yang sama. Sementara itu, peningkatan jarak episenter sebesar 100 km pada magnitudo yang sama, sama dengan penurunan magnitudo 1.0 pada jarak yang sama



**Gambar 8** Model grafik perkiraan PGV berdasarkan jarak episenter dan magnitudo gempa bumi

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka disimpulkan bahwa :

1. Pola hubungan antara nilai PGV dengan jarak episenter adalah semakin kecil nilai PGV maka berarti semakin jauh jaraknya dengan stasiun pencatat. Dan pola hubungan antara nilai PGV dengan magnitudo, yaitu pola yang berbanding lurus dengan semakin besar magnitudo dari suatu kejadian gempa bumi maka akan semakin tinggi juga nilai PGV nya.
2. Dari hasil penelitian dan pengolahan data maka rumusan empiris untuk daerah Luwuk yang diperoleh adalah  

$$\log PGV = -3.98873 + 1.026975 \times M - 1.34171 \times \log (R + 17)$$
3. Model pergerakan tanah (PGV) adalah dengan  $M = 3$  bisa menimbulkan PGV

sekitar  $2 \times 10^{-3}$  pada jarak 1 km dari Kota Luwuk, dan menurun secara logaritmik hingga  $1 \times 10^{-5}$  pada jarak 1000 km. Sementara itu, gempa bumi dengan magnitudo 7.0 dengan jarak episenter 1 km bisa menggetarkan Luwuk hingga 30 m/s, sedangkan nilai PGV gempa bumi 7.0 dengan jarak episenter 1000 km diperkirakan sebesar  $10^{-1}$  m/s.

### DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, A., Kriswati E., Pramita Y.R. 2009. Pengaruh Gempa Tektonik Terhadap Aktivitas Gunungapi : Studi Kasus G. Talang dan Gempa bumi Padang 30 September 2009, *Buletin Vulkanologi dan Bencana Geologi Vol. 4*.
- Howel (1969), dalam Nandi. 2006. *Handout Geologi Lingkungan : Gempa Bumi, Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia*.
- Kaharuddin. (2011). Perkembangan Tektonik Dan Implikasinya Terhadap Potensi Gempa Dan Tsunami di Kawasan Pulau Sulawesi. *Jurnal Tektonik Tsunami Sulawesi : Makassar*
- Katili. (1973). *"Bali-Indonesia Rawan Gempa"*. Jakarta: Akademi Meteorologi dan Geofisika.
- Lantu., Dewi. I. K., Sabrinto. A., dan Muhammad. I. T. (2012). *Investigasi Pergerakan Tanah Berbasis Pola Kecepatan Tanah Maksimum (Pgv) Akibat Gempa Bumi Untuk Identifikasi Stabilitas Wilayah Sebagai Salah Satu Acuan Pembangunan Infra Struktur*. Seminar Nasional Sains dan Teknik,1.
- Supartoyo dan Surono, 2008, *Katalog Gempa bumi Merusak di Indonesia Tahun 1629 – 2007*, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung