



Analisis Percepatan Tanah Puncak Akibat Gempa Pada Kota Sorong Sebagai Upaya Mitigasi Bencana

Imam Trianggoro Saputro¹, Mohammad Aris²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sorong

Abstrak

Sorong merupakan salah satu kota yang terletak di Provinsi Papua Barat. Daerah ini memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap ancaman bahaya gempa bumi karena lokasinya terletak di antara pertemuan lempengan tektonik dan beberapa sesar aktif. Tingkat kerawanan terhadap gempa pada daerah ini cukup tinggi. Pada September 2016, BMKG mencatat bahwa terjadi gempa bumi dengan skala magnitudo sebesar 6,8 SR (Skala Richter) dengan kedalaman 10 meter dari permukaan laut dan berjarak 31 km arah timur laut kota Sorong. Gempa ini bersifat merusak. Akibat gempa ini, sebanyak 62 orang terluka dan 257 rumah rusak. Untuk itu diperlukan suatu analisis terhadap percepatan tanah puncak (*Peak Ground Acceleration*) terbaru sebagai langkah mitigasi yang nantinya dapat digunakan untuk perencanaan gedung tahan gempa. Pengumpulan data gempa pada penelitian ini yaitu data gempa yang terjadi sekitar kota Sorong pada rentang waktu 1900-2017. Data gempa yang diambil adalah yang berpotensi merusak struktur yaitu dengan magnitudo (M_w) ≥ 5 dengan radius gempa 500 km dari kota Sorong dan memiliki kedalaman antara 0 - 300 km. Setelah diperoleh data gempa maka dibuat peta sebaran gempa di wilayah kota Sorong. Percepatan tanah puncak dihitung berdasarkan fungsi atenuasi matuscha (1980) dan menggunakan pendekatan metode Gumbel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai percepatan tanah puncak (PGA) di wilayah kota Sorong pada periode ulang 2500 tahun atau menggunakan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun umur rencana bangunan diperoleh sebesar 708.9520 cm/dt² atau 0.7227 g. Apabila melihat peta gempa SNI 1726-2012 yang menggunakan probabilitas yang sama maka nilai percepatan tanah puncak (PGA) ketika gempa bumi berkisar antara 0.4 g - 0.6 g. Nilai ini mengalami peningkatan yang berarti tingkat resiko terhadap gempa bumi pada wilayah kota Sorong meningkat.

Kata kunci : percepatan tanah puncak, mitigasi, metode Gumbel

1. Pendahuluan

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang sering terjadi di negara Indonesia. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu daerah yang paling rawan terhadap bencana gempa bumi. Gempa bumi terjadi akibat aktifitas seismik yang terjadi di lempengan tektonik maupun sesar. Aktifitas seismik ini berpotensi menimbulkan bencana alam (*natural hazard*) yang dapat menimbulkan korban jiwa. Tentunya hal ini merupakan masalah yang harus segera diatasi. Penelitian-penelitian dilakukan dalam rangka pengurangan dampak/resiko dengan tujuan mengurangi jatuhnya korban jiwa. Indonesia memiliki daerah yang luas dengan kondisi seismik dan tingkat kerawanan yang berbeda pada setiap tempatnya.

Sorong merupakan salah satu kota di bagian timur Indonesia. Kota ini terletak di Provinsi Papua Barat. Gempa bumi dengan skala kecil sampai besar pada daerah kota Sorong sering dirasakan oleh warga sekitar. Hal ini seakan menjadi fenomena yang alam yang biasa terjadi. Tidak jarang hal ini menimbulkan korban jiwa maupun kerusakan infrastruktur di daerah tersebut. Berdasarkan nilai parameter Guttenber-Richter, wilayah Papua dan Papua Barat termasuk kategori daerah dengan tingkat kegempaan yang cukup tinggi (Bunga dan Mantiri, 2007).

Pada September 2016, terjadi gempa bumi dengan skala magnitudo sebesar 6,8 SR (Skala Richter) dengan kedalaman 10 meter dari permukaan laut dan berjarak 31 km arah timur laut kota Sorong (BMKG, 2016). Gempa ini tergolong gempa besar yang dapat merusak struktur bangunan pada umumnya. Laporan menyebutkan bahwa terdapat sebanyak 62 orang terluka dan 257 rumah rusak. Banyak korban yang harus segera dievakuasi ke rumah sakit terdekat akibat tertimpa reruntuhan bangunan pada gempa ini. Kerugian yang ditimbulkan akibat gempa ini cukup besar. Banyak rumah yang harus direkonstruksi pasca bencana gempa tersebut.

Pengurangan resiko ini sangat penting sebagai langkah mitigasi. Upaya mitigasi perlu

dilakukan untuk mengidentifikasi bencana yang akan terjadi dikemudian hari dengan mengambil langkah antisipasi. Hal ini dilakukan dalam rangka untuk mengurangi resiko yang ditimbulkan sehingga tingkat kerugian dan korban yang berjatuh dapat diminimalisir (Saputro, 2018).

Salah satu upaya untuk pengurangan resiko bencana gempa bumi yaitu dengan melakukannya upaya mitigasi. Mitigasi ini bertujuan untuk mencegah resiko yang serupa terjadi lagi di masa mendatang.

* Corresponding author. Telp.: 085254140202
E-mail addresses: imam.civil10@gmail.com

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap percepatan tanah puncak (*peak ground acceleration*) yang terjadi pada daerah kota Sorong. Rekaman data gempa merupakan data yang sangat penting untuk menganalisis kemungkinan gempa di masa mendatang berdasarkan kala ulang (*return period*) yang terjadi. Namun keterbatasan alat perekam gempa yang terdapat di negara Indonesia dan terkhususnya daerah Papua Barat menjadikan gempa yang terjadi di Indonesia tidak terekam/terdokumentasi dengan baik. Pada penelitian ini data gempa yang digunakan yaitu data gempa yang pernah terjadi di daerah sekitar kota Sorong dengan rentang waktu 1900-2017. Data tersebut akan diperoleh dari USGS (*United States Geological Survey*).

Data yang diperoleh tersebut kemudian dilakukan pemetaan terhadap sebaran gempa yang terjadi di wilayah kota Sorong dan juga distribusi frekuensi kejadian gempa bumi terhadap magnitudo dan waktu. Hasil identifikasi dapat menjadi solusi untuk mengetahui seberapa besar tingkat kerawanan terhadap bahaya gempa bumi pada daerah kota Sorong. Selain itu, percepatan tanah puncak merupakan parameter yang penting dalam mendesain suatu bangunan tahan gempa. Analisis besar percepatan tanah puncak pada penelitian ini menggunakan metode Gumbel. Analisis terhadap percepatan tanah puncak (*peak ground acceleration*) akibat gempa ini diharapkan dapat memberikan informasi/gambaran tentang kondisi seismik. Dengan demikian percepatan tanah puncak dapat menjadi masukan bagi para masyarakat maupun instansi yang terlibat dalam upaya mitigasi bencana gempa di kota Sorong.

Berdasarkan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengidentifikasi peta sebaran kejadian gempa bumi di daerah kota Sorong.
2. Mengidentifikasi distribusi frekuensi gempa bumi terhadap waktu pada wilayah kota Sorong.
3. Mengidentifikasi distribusi frekuensi gempa bumi terhadap magnitudo pada wilayah kota Sorong.
4. Menganalisis nilai percepatan tanah puncak (*peak ground acceleration*) pada wilayah kota Sorong.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada wilayah kota Sorong sesuai dengan tujuan penelitian yang telah dipaparkan. Data gempa yang ditinjau adalah data gempa yang terjadi pada wilayah kota Sorong dengan radius 500 km dari koordinat kota Sorong. Koordinat

kota Sorong adalah -0.9 latitude dan 131.85 longitude.

2.2. Sumber Data Penelitian

Keterbatasan data gempa merupakan suatu masalah yang sering terjadi karena di Indonesia belum banyak terdapat alat perekam gempa yang memadai. Sumber data pada penelitian ini diambil dari katalog gempa National Earthquake Information Center U.S. Geological Survey (NEIC-USGS) berasal dari Amerika Serikat, yang merupakan kompilasi dari beberapa katalog dari sumber seperti BCIs, ISSN, ISC, PDE dan katalog yang disusun oleh individu seperti: Abe, Abe dan Noguchi serta Gutenberg dan Richter.

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data untuk memperoleh data gempa dilakukan sebagai berikut ini :

1. Mencari titik koordinat lokasi tinjauan, dalam hal ini koordinat kota Sorong.
2. Membuat radius data gempa yang digunakan. Pada penelitian ini radius gempa yang ditinjau ditetapkan sebesar 500 km.
3. Kedalaman gempa 0-300 km.
4. Data gempa yang diambil adalah yang memiliki magnitudo $M_w \geq 5$.

2.4. Konversi Skala Magnitudo

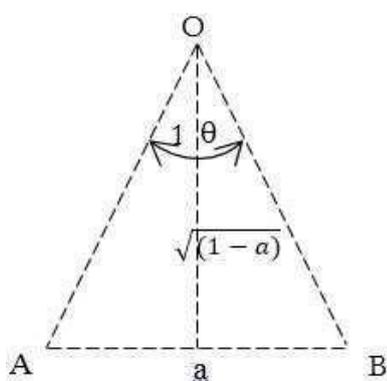
Data yang dikumpulkan dari berbagai sumber umumnya menggunakan skala magnitudo yang berbeda-beda. Skala magnitudo yang digunakan antara lain adalah magnitudo *surface* (M_s), magnitudo lokal (M_L), magnitudo body (m_b) dan magnitudo momen (M_w). Skala magnitudo tersebut dikonversi terlebih dahulu menjadi satu skala magnitudo yang sama sebelum digunakan dalam analisis *hazard* gempa. Dalam penelitian ini, konversi magnitudo yang dipergunakan mengacu pada korelasi konversi antara beberapa magnitudo untuk wilayah Indonesia (Asrurifak, 2010). Tersaji pada Tabel 1

Tabel 1. Korelasi Konversi Antara Beberapa Skala Magnitude Untuk Wilayah Indonesia (Asrurifak,2010)

Korelasi Konversi	Jml Data (Events)	Range Data	Kesesuaian (R ²)
$M_W=0.143M_s^2-1.051M_s+7.285$	3.173	$4.5 \leq M_s \leq 8.6$	93.9%
$M_W=0.114m_b^2-0.556m_b+5.560$	978	$4.9 \leq m_b \leq 8.2$	72.0%
$M_W=0.787M_E+1.537$	154	$5.2 \leq M_E \leq 7.3$	71.2%
$m_b=0.125M_L^2-0.389M_L+3.513$	722	$3.0 \leq M_L \leq 6.2$	56.1%
$M_L=0.717M_D+1.003$	384	$3.0 \leq M_D \leq 5.8$	29.1%

2.5. Menghitung Jarak Episenter

Untuk menghitung jarak epicenter gempa digunakan perumusan haversine yang diusulkan oleh sinnott dengan permodelan bola sederhana. Dengan rumusan haversine 1984 adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Permodelan hubungan pusat bumi dengan titik tinjau (Sa’adah dkk, 2011)

Secara sederhana rumusan diatas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$d = \arccos (\sin(\text{lat } 1) \cdot \sin(\text{lat } 2) + \cos(\text{lat } 1) \cdot \cos(\text{lat } 2) \cdot \cos(\text{long } 2 - \text{long } 1)) \cdot R$$

Dimana R adalah Radius jari-jari bumi = 6.371 km.

2.6. Menghitung Jarak Hiposenter

Perhitungan jarak hiposenter dengan lokasi struktur dapat dihitung dengan Teorema Pythagoras:

$$R = \sqrt{D^2 + H^2}$$

Keterangan :

R = Jarak hiposenter

D = Jarak dari episenter ke titik lokasi yang ditinjau

H = Jarak Episenter

2.7. Penentuan Fungsi Atenuasi

Penelitian – penelitian mengenai perolehan persamaan atenuasi telah dilakukan oleh banyak ahli sebelumnya dan menghasilkan sejumlah persamaan atenuasi yang berbeda hasil serta keakuratannya, diantaranya yang banyak digunakan adalah :

Persamaan Matuscha 1980 :

$$a = 119 \cdot e^{0.81 \cdot M} \cdot (H+25)^{-1.15}$$

Keterangan :

a = Percepatan gempa (cm/dt²)

M = Besar gempa menurut skala Richter

H = Jarak hiposenter (km)

2.8. Menghitung Percepatan Tanah Puncak

Pada studi ini untuk memperoleh percepatan gempa maksimum digunakan metode distribusi Gumbel dengan persamaan atenuasi yang digunakan yaitu atenuasi Matuscha. Distribusi Gumble dituliskan sebagai berikut:

$$G(M) = e^{(-\alpha \cdot e^{-\beta M})}$$

Keterangan :

A = Jumlah gempa rata-rata pertahun

B = Parameter yang menyatakan hubungan antara distribusi gempa dengan magnitude

M = Magnitude gempa

Dari bentuk persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi persamaan linear sebagai berikut:

$$\ln G(M) = -\alpha \cdot e^{-\beta M}$$

$$\ln(-\ln G(M)) = \ln \alpha - \beta M$$

Identik dengan : Y = A + BX

Keterangan :

Y = ln(-ln G(M))

A = eA

β = -B

X = M atau percepatan

Persamaan garis di atas terdiri atas titik – titik x_j, y_j dimana:

x_j = Percepatan Gempa ke

j j = Nomor urut kejadian gempa yang disusun dari nilai a terkecil.

Harga untuk a terbesar = N

N = selang waktu pengamatan

y_j = ln (-ln G(M))

$$= \ln \left(-\ln \left(\frac{1}{N+1} \right) \right)$$

$$A = \frac{\sum y_j \sum x_j^2 - \sum x_j \sum (x_j y_j)}{n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2}$$

$$B = \frac{n \sum x_j y_j - \sum x_j \sum y_j}{n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2}$$

$$\alpha = e^A$$

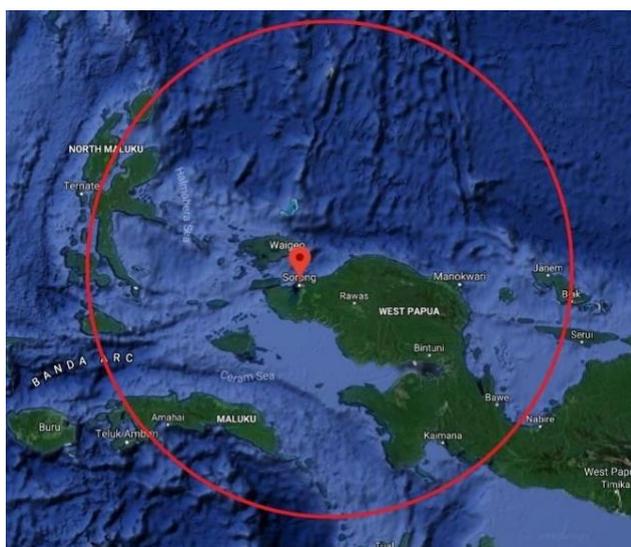
$$\beta = -B$$

Hubungan periode ulang (T) dan percepatan (a)

$$a = \frac{\ln(T \cdot \alpha)}{\beta}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Lokasi Tinjauan



Gambar 2. Area lokasi tinjauan

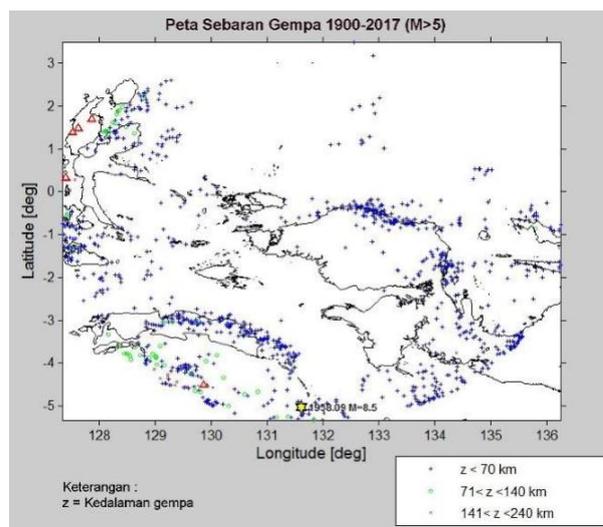
Pada Gambar 2 tersaji peta area lokasi tinjauan penelitian. Koodinat kota sorong terletak pada koordinat -0.9 latitude dan 131.85 longitude seperti tergambar pada peta di atas. Data gempa yang diambil memiliki radius 500 km dari sorong. Ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh yang ditimbulkan oleh aktifitas seismic yang terjadi di sekitar kota sorong. Gempa bumi yang terjadi pada wilayah sekitar kota sorong biasanya dapat dirasakan oleh penduduk sehingga hal ini yang melatarbelakangi pengambilan wilayah gempa tersebut. Lingkaran merah menunjukkan batasan area yang ditinjau.

3.2. Data gempa bumi

Data gempa bumi yang ditinjau yaitu pada kurun waktu 1900-2017. Pada kurun waktu tersebut tentunya data gempa yang terjadi sangat banyak. Data gempa yang diambil pada penelitian ini hanyalah yang memiliki magnitude ≥ 5 mw. Alasan dilakukannya hal tersebut adalah analisis ini memiliki tujuan untuk upaya mitigasi gempa bumi terhadap struktur bangunan. Gempa bumi yang berdampak signifikan pada struktur bangunan adalah yang memiliki kekuatan magnitude ≥ 5 mw. Selain itu, kedalaman terjadinya gempa bumi merupakan

parameter penting. Kedalaman gempa bumi yang diperhitungkan hanya pada kisaran 0-300 km dari permukaan tanah. Semakin dangkal pusat terjadinya gempa bumi menimbulkan resiko kerusakan yang besar.

Berdasarkan hasil pengumpulan data gempa menurut kriteria di atas maka diperoleh data kejadian gempa bumi sebanyak 1015 data gempa yang tersebar di wilayah sorong. Pada Gambar 3 menunjukkan sebaran gempa yang terjadi pada kurun waktu 1900-2017 di wilayah kota Sorong.

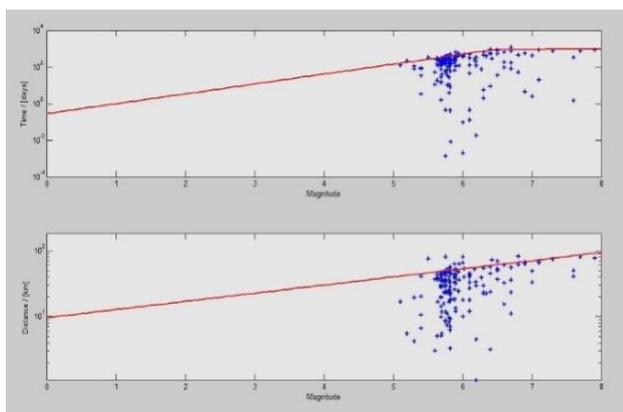


Gambar 3. Peta sebaran gempa 1900-2017 (M>5)

3.3. Declustering

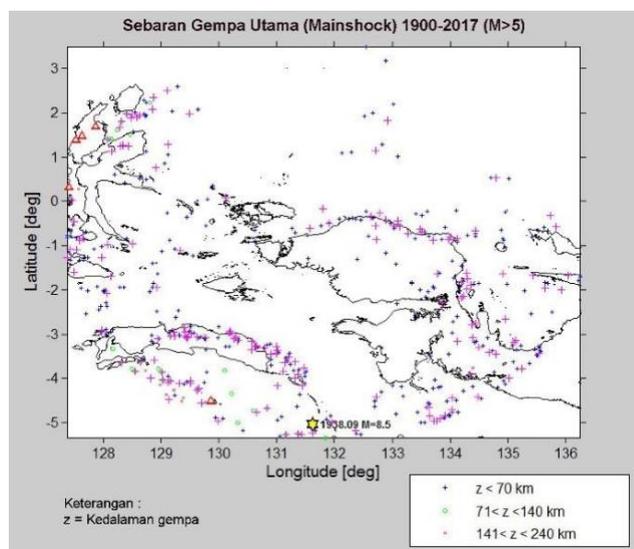
Declustering merupakan proses pemisahan antara gempa utama (foreshock) dan gempa susulan (aftershock) dengan menggunakan kriteria rentang waktu dan jarak. Analisis bahaya gempa probabilistik dilakukan berdasarkan kejadian gempa independen atau gempa utama. Kejadian-kejadian gempa dependen atau gempa susulan, seperti foreshock dan aftershock yang terjadi dalam suatu rangkaian gempa harus diidentifikasi sebelum melakukan analisis. Memasukkan kejadian gempa dependen dalam analisis akan mengakibatkan sedikit peningkatan pada hasil (Purbandini dkk, 2017).

Pemisahan gempa yang dilakukan memperhitungkan jarak antar terjadinya gempa (*distance window*) dan waktu antara satu gempa dengan gempa berikut yang terjadi (*time window*) menggunakan model Gardner and Knopoff (1974). Pada Gambar 4 berikut merupakan hasil analisis pemisahan gempa utama menggunakan model Gardner and Knopoff (1974).



Gambar 4. Hasil pemisahan data gempa utama

Setelah melakukan pemisahan antara gempa utama dan gempa susulan menggunakan model Gardner and Knopoff (1974) dihasilkan 451 gempa utama atau sekitar 43,43% dari total gempa yang dianalisis. Pada Gambar 5 berikut merupakan peta sebaran gempa setelah dilakukan analisis *declustering*.

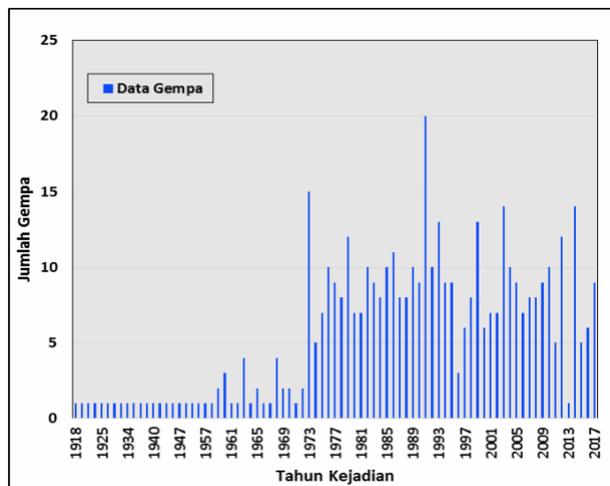


Gambar 5. Peta sebaran gempa utama 1900-2017 ($M > 5$)

3.4. Identifikasi Distribusi Gempa Terhadap Waktu

Identifikasi distribusi gempa terhadap waktu dilakukan untuk menunjukkan sebaran jumlah gempa utama (*mainshock*) dengan magnitudo ≥ 5 mw yang terjadi setiap tahunnya pada rentan waktu 1900-2017. Hasil analisis pada tahun 1900-1917 kejadian gempa tidak ada. Hal ini disebabkan pada saat itu alat pengukur gempa bumi belum baik sehingga data gempa yang terjadi tidak terekam. Pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa pada tahun 1918 data gempa utama (*mainshock*) dengan magnitudo ≥ 5 mw mulai terekam dengan baik. Distribusi gempa bumi terbesar terjadi pada tahun 1991 yaitu sekitar 20 kejadian gempa utama (*mainshock*) dengan skala magnitudo ≥ 5 mw dalam setahun. Tentunya ini merupakan hal yang berbahaya.

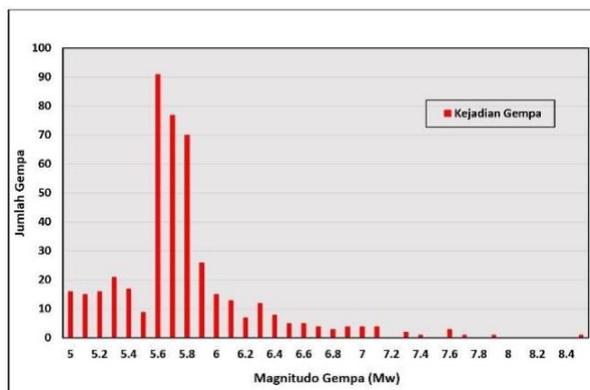
Apabila melihat hasil kejadian gempa dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir (sebelum 2017), maka aktifitas seismic di wilayah sekitar kota Sorong memiliki intensitas yang cukup tinggi. Perhatian serius dalam penanganan gempa harus diupayakan sebagai langkah mitigasi sehingga tidak menimbulkan korban jiwa.



Gambar 6. Distribusi gempa terhadap waktu ($M \geq 5$ mw)

3.5. Identifikasi Distribusi Gempa Terhadap Magnitude

Identifikasi distribusi gempa dilakukan untuk mengetahui kekuatan frekuensi gempa utama (*mainshock*) yang sering terjadi di wilayah kota Sorong selama kurun waktu 1900-2017. Gempa utama (*mainshock*) dengan magnitudo ≥ 5 mw yang paling sering terjadi di wilayah kota Sorong adalah yang memiliki kekuatan 5.6 mw. Hasil analisis menunjukkan frekuensi terjadinya sebanyak 91 kali kejadian. Histogram hasil distribusi gempa terhadap magnitudo tersaji pada Gambar 7 berikut ini.

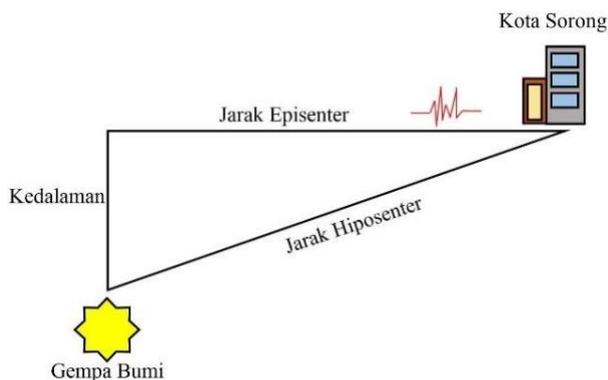


Gambar 7. Distribusi gempa terhadap magnitudo ($M \geq 5$ mw)

3.6. Analisis Jarak Episenter dan Hiposenter

Parameter gempa bumi diperlukan dalam analisis. Beberapa parameter diantaranya adalah lokasi koordinat terjadinya gempa, besar magnitudo

gempa, kedalaman fokus gempa bumi. Parameter tersebut dapat digunakan untuk menghitung jarak episenter dan hiposenter ke lokasi tinjauan penelitian. Gambar 8 menunjukkan skema gambaran antara parameter gempa terhadap kota Sorong. Analisis dilakukan untuk memperhitungkan jarak gempa terhadap kota Sorong. Jarak terjadinya gempa terhadap suatu wilayah memiliki pengaruh dimana kecenderungannya yaitu semakin dekat dengan focus gempa mengakibatkan kekuatan gempa semakin besar. Namun kondisi berbeda mungkin saja terjadi karena terdapat efek kondisi sekitar (*local site effect*).



Gambar 8. Penentuan jarak episenter dan hiposenter

Perhitungan jarak episenter menggunakan rumusan haversine 1984 sebagai berikut ini.

Koordinat terjadinya gempa

$$\begin{aligned} \text{Longitude} &= 133.85^\circ \\ &= 2.34 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Latitude} &= -0.86^\circ \\ &= -0.015 \text{ rad} \end{aligned}$$

Koordinat Kota Sorong

$$\begin{aligned} \text{Longitude} &= 131.85^\circ \\ &= 2.30 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Latitude} &= -0.9^\circ \\ &= -0.016 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$R \text{ bumi} = 6371 \text{ km}$$

Maka jarak episenter (d) dapat dihitung sebagai berikut ini :

$$\begin{aligned} d &= \arcsin(\sin(\text{lat } 1) \cdot \sin(\text{lat } 2) + \cos(\text{lat } 1) \cdot \\ &\quad \cos(\text{lat } 2) \cdot \cos(\text{long } 2 - \text{long } 1)) \cdot R \\ &= \arcsin(\sin(-0.016) \cdot \sin(-0.015) + \cos(- \\ &\quad 0.016) \cdot \cos(-0.015) \cdot \cos(2.34 - \text{long } 2.30)) \cdot \\ &\quad 6371 \\ &= 222.75 \text{ km} \end{aligned}$$

Jarak Hiposenter (R) dihitung sebagai berikut ini :

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman Gempa (H)} &= 15 \text{ km} \\ R &= \sqrt{D^2 + H^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{222.75^2 + 15^2} \\ &= 223.26 \text{ km} \end{aligned}$$

Kemudian dianalisis untuk semua gempa yang terjadi.

3.7. Analisis Fungsi Atenuasi Matuscha

Besarnya percepatan tanah tidak hanya dipengaruhi oleh magnitudo dan jarak gempa dari episenter. Namun terdapat pengaruh lain yaitu fungsi atenuasi dan kondisi setempat (*local site*) (Saputro, 2018).

Untuk itu diperlukan suatu fungsi atenuasi untuk memprediksi hal itu. Fungsi atenuasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan Persamaan Matuscha (1980) seperti berikut ini.

Contoh salah satu perhitungan data gempa

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman Gempa (H)} &= 15 \text{ km} \\ \text{Magnitudo gempa} &= 6.3 \text{ Mw} \\ a &= 119 \cdot e^{0.81 \cdot M} \cdot (H+25)^{-1.15} \\ &= 119 \cdot e^{0.81 \cdot (6.3)} \cdot (15+25)^{-1.15} \\ &= 34.484 \text{ cm/s}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis fungsi atenuasi di atas maka percepatan gempa itu memiliki percepatan tanah saat mencapai lokasi tinjauan sebesar 34.484 cm/s^2 . Analisis yang sama kemudian dilakukan pada setiap data gempa hingga memperoleh semua data percepatan tanah puncak. Setelah itu dilakukan, maka diambil nilai percepatan tanah puncak pada setiap tahunnya.

3.8. Analisis PGA Berdasarkan Distribusi Gumbel

Setelah menganalisis percepatan tanah menggunakan fungsi atenuasi matuscha. Maka hasil analisis berupa pengelompokan data setiap tahun dianalisis percepatan tanah puncaknya (PGA) menggunakan distribusi gumbel. Pada penelitian ini sebenarnya data gempa yang ingin diperhitungkan mulai tahun 1900 namun data yang diperoleh hanya mulai tahun 1918. Untuk itu rentang waktu pengamatan yang dilakukan pada distribusi gumbel ini adalah pada tahun 1918-2017 (100 tahun).

Setelah memperoleh nilai jumlah rata-rata gempa pertahun (α) dan hubungan distribusi gempa dengan magnitudo maka dianalisis hubungan antara periode ulang dan percepatan tanah puncak (PGA) yang terjadi di wilayah kota Sorong. Berikut ini contoh perhitungannya. Hasil analisis tersaji pada Tabel 5.3 berikut

Periode ulang (T) = 2500 tahun

$$a = \frac{\ln(T \cdot \alpha)}{\beta}$$

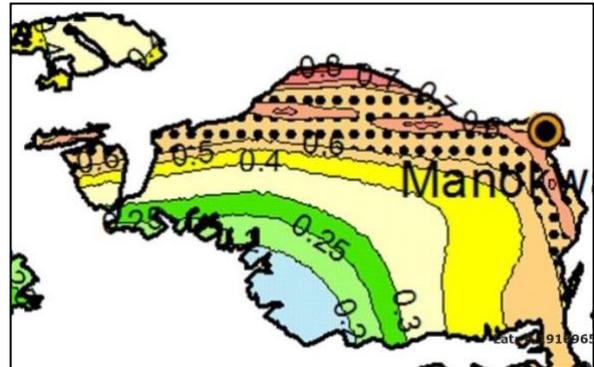
$$\begin{aligned}
 &= \frac{\ln(2500 \times 1.36988)}{0.01148} \\
 &= 708.952 \text{ cm/dt}^2 \\
 &= 0.723 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Hubungan Periode Ulang dan PGA

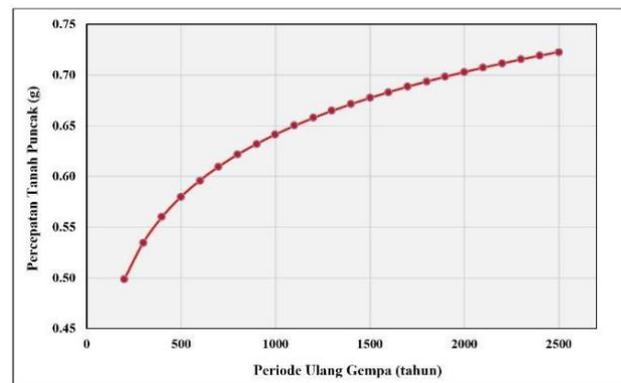
Periode Ulang (T) (tahun)	PGA	
	(cm/dtk ²)	g
200	488.9408	0.4984
300	524.2601	0.5344
400	549.3195	0.5600
500	568.7571	0.5798
600	584.6387	0.5960
700	598.0665	0.6096
800	609.6982	0.6215
900	619.9580	0.6320
1000	629.1358	0.6413
1100	637.4380	0.6498
1200	645.0174	0.6575
1300	651.9898	0.6646
1400	658.4452	0.6712
1500	664.4550	0.6773
1600	670.0768	0.6831
1700	675.3577	0.6884
1800	680.3367	0.6935
1900	685.0464	0.6983
2000	689.5144	0.7029
2100	693.7644	0.7072
2200	697.8167	0.7113
2300	701.6888	0.7153
2400	705.3961	0.7191
2500	708.9520	0.7227

Tabel 2 merupakan hasil perhitungan periode ulang gempa bumi terhadap percepatan tanah puncak (PGA) yang dihasilkan. Perhitungan percepatan tanah puncak (PGA) dilakukan menggunakan periode ulang 200-2500 tahun. Periode ulang 2500 tahun artinya probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun umur rencana bangunan. Pada periode ulang 2500 tahun diperoleh percepatan tanah puncak sebesar 708.9520 cm/dt² atau 0.7227 g. Apabila melihat peta gempa SNI 1726-2012 yang menggunakan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun umur rencana bangunan maka nilai percepatan tanah puncak (PGA) ketika gempa bumi berkisar antara 0.4 g - 0.6 g. Gambar 9 menunjukkan nilai PGA menurut SNI 1726-2012 pada wilayah kota Sorong. Nilai ini mengalami peningkatan yang berarti tingkat resiko terhadap gempa bumi pada wilayah kota Sorong meningkat setelah peraturan SNI terakhir yang dikeluarkan pada tahun 2012. Peta gempa harus dilakukan pembaruan setiap beberapa tahun agar tingkat resiko suatu daerah dapat diketahui

perkembangannya. Pembaruan nilai tersebut merupakan langkah mitigasi yang terhadap pembangunan struktur gedung. Nilai percepatan tanah puncak (PGA) sangat diperlukan dalam merancang struktur gedung tahan gempa.

**Gambar 9.** Percepatan tanah puncak kota sorong (SNI-1726-2012)

Berdasarkan analisis percepatan tanah puncak (PGA) pada Tabel 5.3 maka dibuat suatu grafik hubungan antara periode ulang gempa dan percepatan puncak yang dihasilkan. Hasilnya tersaji pada gambar 10 berikut.

**Gambar 10.** Hubungan periode ulang gempa dan percepatan puncak di kota Sorong

4. Kesimpulan

Setelah melakukan proses analisis maka terdapat beberapa kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian ini. Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Peta sebaran gempa di wilayah kota Sorong dengan radius 500 km dari kota Sorong yang memiliki magnitudo > 5 mw adalah sebanyak 1015 data kejadian gempa bumi. Setelah analisis declustering diperoleh gempa utama yang terjadi berjumlah 451 kejadian atau 43.43% dari total seluruh kejadian gempa.
2. Distribusi frekuensi gempa utama (*mainshock*) terhadap waktu di wilayah kota Sorong dengan magnitudo ≥ 5 mw pada rentan waktu 1900-2017 adalah berfluktuatif setiap tahunnya dengan

distribusi terbesar pada tahun 1991 yaitu sekitar 20 kejadian.

3. Distribusi frekuensi gempa utama (*mainshock*) terhadap waktu di wilayah kota Sorong dengan magnitudo ≥ 5 mw pada rentan waktu 1900-2017 yaitu yang paling sering terjadi memiliki kekuatan gempa dengan magnitudo 5.6 mw. Hasil analisis menunjukkan frekuensi terjadinya sebanyak 91 kali kejadian.
4. Nilai percepatan tanah puncak (PGA) di wilayah kota Sorong pada periode ulang 2500 tahun atau menggunakan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun umur rencana bangunan diperoleh sebesar 708.9520 cm/dt² atau 0.7227 g. Apabila melihat peta gempa SNI 1726-2012 yang menggunakan probabilitas yang sama maka nilai percepatan tanah puncak (PGA) ketika gempa bumi berkisar antara 0.4 g - 0.6 g. Nilai ini mengalami peningkatan yang berarti tingkat resiko terhadap gempa bumi pada wilayah kota Sorong meningkat

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini.

6. Referensi

- Asrurrifak, M., 2010, *Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa dengan Model Sumber Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilistik*. Disertasi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Bunga, M., dan Mantiri S. Y. Y., 2007, *Seismisitas Daerah Papua dan Sekitarnya Tahun 2000-2006*. Jurnal Sains FMIPA, Universitas Cenderawasi, 1,7
- Saputro, I. T. (2018, June 6). ANALISIS PERBANDINGAN KURVA HAZARD PADA KOTA BANDA ACEH DENGAN SUMBER GEMPA SESAR SEULIMEUM DAN MENGGUNAKAN BEBERAPA FUNGSI ATENUASI.
<https://doi.org/10.31227/osf.io/uvp2y>
- Saputro, I. T. (2018, June 23). ASESMEN RESIKO BENCANA MENGGUNAKAN METODE KUALITATIF PADA DESA IMOGIRI.
<https://doi.org/10.31227/osf.io/jptmx>
- Lewerissa, R. dan Manobi, T. 2013, *Pemetaan Daerah Rawan Gempa Bumi di Wilayah Sorong Provinsi Papua Barat Berdasarkan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*, Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika Vol 1, No 4 (2013).
- Mantiri dan Yulianus, S. 2010, *Penentuan distribusi nilai percepatan tanah maksimum di wilayah*

Papua dan Papua Barat, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Mase. Lindung (2015). *Karakteristik Gempa Di Kota Bengkulu*. Fakultas Teknik. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Bengkulu.
- Ningrum, R.W., 2011, *Analisis Probabilitas Seismic Hazard Untuk Daerah Kepulauan Maluku*, Tesis, Program Studi S2 Ilmu Fisika Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Purbandini, P., Santosa, B. J., & Sunardi, B. (2017). Analisis Bahaya Kegempaan di Wilayah Malang Menggunakan Pendekatan Probabilistik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 6(2), B20-B24.
- Sa'adah U, dkk. 2015, *Analisis Resiko Gempa di Kota Surakarta dengan Pendekatan Metode Gumbel*, Matriks Teknik Sipil Vol.3 no.1 (2015)
- Shohaya, jihan, dkk (2013). "Survey Dan Analisis Seismisitas Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1999-2013 Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi". *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*. Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Surabaya
- Sinnott, R. W. 1984. *Virtues of the Haversine*. *Sky and Telescope*, 68(2), 159.
- SNI-1726-2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Pawirodikromo, Widodo (2012), *Seismology Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Cetakan I, Pustaka Pelajar, Yogyakarta