

**KARAKTERISTIK GEMPA *FORESHOCK* DAN *AFTERSHOCK*
PADA SUMBER GEMPA *INTRAPLATE* BERDASAR
DISTRIBUSI KEJADAIN GEMPA
(Studi Kasus: Gempa Padang 2009 dan Gempa Padang Panjang 2007)**

Rusnardi Rahmat Putra

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Email: rusnardi.rahmat@ft.unp.ac.id

Abstrak: Tercatat 34 gempa dengan magnitude $>4Mw$ yang terjadi di tahun 2020, meningkatnya jumlah dan intensitas kejadian gempa yang terjadi di Sumatera Barat menginformasikan bahwa aktifitas plat baik yang bersumber dari *subduction* maupun faultline yang berada di daratan Pulau Sumatera masih aktif. Salah satu gempa besar yang pernah terjadi di Sumatera Barat adalah gempa yang terjadi pada tanggal 30 September 2009 dengan kekuatan $7.6Mw$, gempa ini memiliki percepatan yang tinggi yaitu $0.38m/s^2$. Penelitian ini menggunakan katalog dari *United State Geological Survey* (USGS) dalam menentukan *foreshock* dan *aftershock*. Penentuan *foreshock* dan *aftershock* tidak berdasarkan mekanisme kejadian gempanya tetapi berdasarkan waktu yaitu 0-3, 4-6, 7-9, 10-12 bulan, radius 0-50, 51-100, 101-150km, dan magnitude $>4Mw$. Hasil penelitian ini menunjukkan jumlah *foreshock* dan *aftershock* untuk gempa Padang yang terjadi pada 30 September 2009 adalah 102 gempa untuk *foreshock* dan 49 gempa untuk *aftershock* dalam kurun waktu 1 tahun, sedangkan untuk gempa Padang Panjang yang terjadi pada tanggal 6 Maret 2007 dengan kekuatan $6.4Mw$ yaitu 2 kejadian untuk *foreshock* dan 15 kejadian untuk *aftershock*.

Kata kunci: gempa *foreshock*, gempa *aftershock*, gempa utama

Abstract: From USGS Catalog, There were about 34 earthquakes with a magnitude of $>4Mw$ that occurred in 2020, the increasing number and intensity of earthquakes that occurred in West Sumatra informed that plate activity both earthquake sources from subduction in western site and faultlines on the mainland of Sumatra Island are active. One of the major earthquakes with a magnitude of $7.6Mw$ occurred in West Sumatra on September 30, 2009, this earthquake had a high acceleration of $0.38m/s^2$ at the surface. This study uses a catalog from the United State Geological Survey (USGS) in determining *foreshock* and *aftershock*. Determination of *foreshock* and *aftershock* is not based on the mechanism of the earthquake event but rather the time such as 0-3, 4-6, 7-9, 10-12 months, radius of 0-50, 51-100, 101-150km. The results of this study show that the number of *foreshocks* and *aftershocks* for the Padang earthquake that occurred on September 30, 2009 was 102 earthquakes for *foreshocks* and 49 earthquakes for *aftershock* within 1 year, while for the Padang Panjang earthquake that occurred on March 6, 2007 with a magnitude of $6.4Mw$, namely 2 events for *foreshocks* and 15 events for *aftershock*

Keywords: *foreshock earthquake, aftershock earthquake, mainshock earthquake*

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah suatu getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik [1]. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak Bumi (lempeng bumi). Efek yang ditimbulkan oleh adanya gelombang seismik dari gangguan alami seperti: pergerakan lempeng (tektonik), Bergeraknya patahan, aktivitas gunung api (vulkanik), dan sebagainya. Jika suatu kawasan yang terletak pada *zona seismic* maka akan beresiko mengalami gempa bumi[2][3].

Ketiga lempeng tersebut bergerak aktif ke arah lempeng netral (lempeng dimana kepulauan Indonesia berada). Pergerakan lempeng tersebut terus meningkat intensitas gempa setiap tahunnya. Lempeng Indo-Australia bergerak sekitar 50 sampai 70 mm per tahun melewati Sumatera Barat [4][5]. Jumlah kejadian gempa dari tahun 1779-2020 sekitar 68.000 kejadian gempa dengan magnitudo >4Mw (gambar 1). Kondisi inilah yang menyebabkan Sumatera Barat menjadi salah satu provinsi yang rawan dengan gempa bumi. Khususnya wilayah Kota Padang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem Sesar Sumatera.

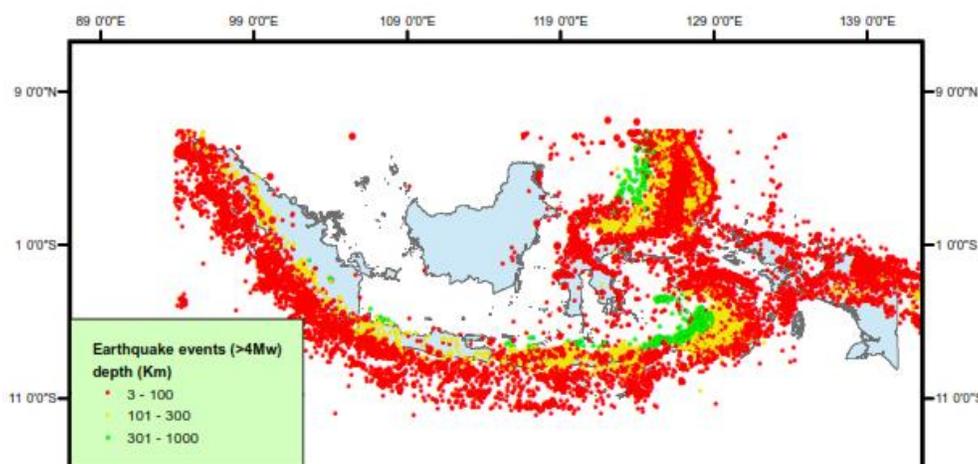
Kota Padang diapit oleh Sesar Sumatera yang terdapat pada bagian tengah Pulau Sumatera dan palung laut di sebelah baratnya, sehingga wilayah ini menjadi sangat rawan bencana gempa[6].

Gempa tektonik melanda Kota Padang, Sumatera Barat pada hari Rabu, 30 September 2009 yang mempunyai kekuatan 7.6 SR. Gempa 2009 terletak pada lempeng Indo-Australia -0.81° S, 99.65° BT dengan kedalaman 80 km (gambar 1.2). Gempa tersebut menimbulkan korban sebanyak 1.117 orang meninggal, 2 orang hilang, 1.214 orang luka berat, dan 1.688 orang luka ringan. Bangunan-bangunan perkantoran, sekolah, rumah sakit atau puskesmas, dan rumah-rumah penduduk banyak yang mengalami kerusakan. Kerusakan yang terjadi bervariasi mulai dari kerusakan ringan, sedang, dan runtuh [7][8].

Kejadian Gempa Sebelum dan Sesudah Gempa Utama.

A. *Foreshock*

Gempa pendahulu (*foreshock*) adalah gempa yang terjadi sebelum peristiwa utama terjadi. Energi yang menimbulkan gempa *foreshock* lebih kecil dari gempa utama [9].



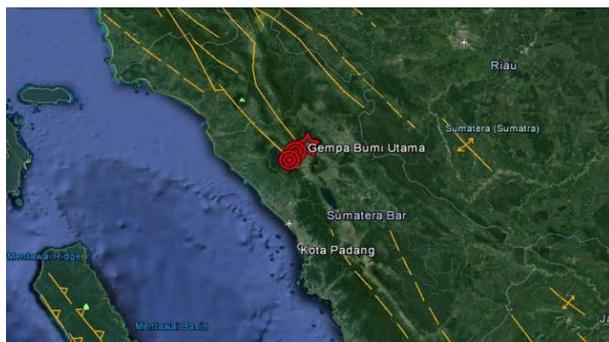
Gambar 1. Peta Kejadian gempa di Indonesia dari tahun 1779-2020[15].

Foreshock ditentukan oleh jarak, mekanisme terjadi dan waktu kejadiannya. Foreshock saat ini bisa diketahui 40% untuk gempa kekuatan menengah dan 70% untuk gempa dengan kekuatan $>7.0Mw$ [10]. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pola gempa foreshock dan aftershock untuk mekanisme gempa yang sama yaitu *interplate*.

B. Aftershock

Gempa susulan atau *Aftershock* adalah gempa yang terjadi setelah gempa utama. Energi yang memunculkan gempa ini adalah lebih kecil dibandingkan gempa utama. Gempa ini terjadi dipengaruhi dari mekanisme gempa utama, jarak dan waktu kejadian[11].

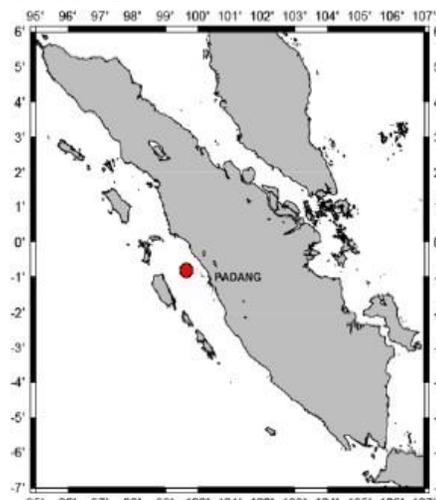
Gempa bumi ganda Padang Panjang terjadi pada tanggal 6 Maret 2007. Gempa bumi pertama terjadi pada pukul 10 : 49 : 39 WIB dengan lokasi epicenter $0.512 LS - 100.524 BT$ dengan magnitudo $6.4Mw$ di kedalaman 10 km. Gempa kedua terjadi pada pukul 12 : 49 : 28 WIB berepicenter $0.49 LS - 100.52 BT$ di kedalaman 10Km yang berkekuatan $6.3Mw$. Mekanisme terjadinya gempa ini adalah *strike slip fault* yang terjadi di Segmen Sunami Sumatera Barat[12].



Gambar 2. Peta lokasi gempa Padang Panjang, 6 Maret 2007 berkekuatan $6.4Mw$

Gempa 30 September 2009, gempa tektonik yang terjadi memberikan efek kerusakan yang signifikan yang terjadi di kota Padang,

Sumatera Barat pada hari Rabu tanggal 30 September 2009. Gempa yang terjadi berkekuatan $7.6 SR$ dengan pusat gempa terletak pada lempeng Indo-Australia $-0.81^{\circ} S, 99.65^{\circ} BT$ dengan kedalaman 80 km (gambar 3). Gempa tersebut menimbulkan korban sebanyak 1.117 orang meninggal, 2 orang hilang, 1.214 orang luka berat, dan 1.688 orang luka ringan. Bangunan-bangunan perkantoran, sekolah, rumah sakit atau puskesmas, dan rumah-rumah penduduk banyak yang mengalami kerusakan (Gambar 4). Kerusakan yang terjadi bervariasi mulai dari kerusakan ringan, sedang, dan runtuh[13][14].



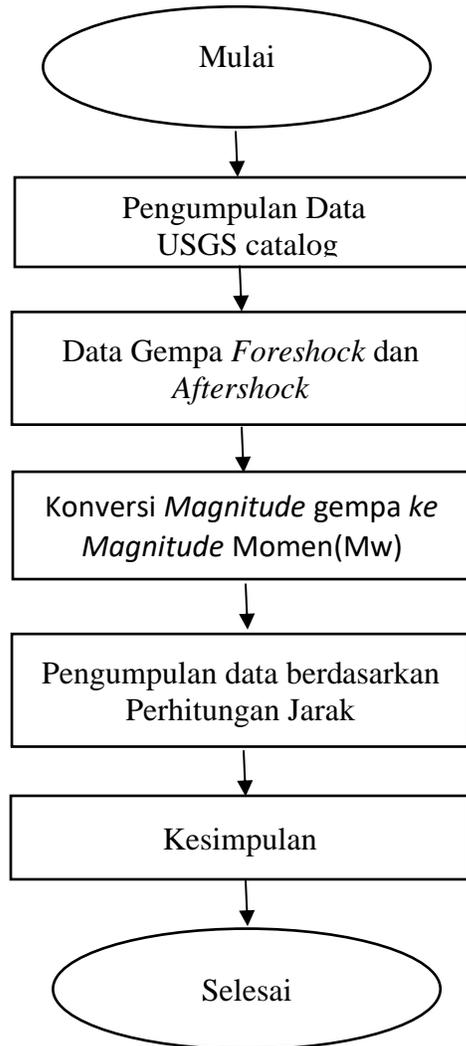
Gambar 3. Peta lokasi gempa Padang, 30 September 2000 berkekuatan $7.6Mw$.



Gambar 4. Photo kerusakan bangunan akibat kejadian gempa 30 September 2009 berkekuatan $7.6Mw$.

METODOLOGI PENELITIAN

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan portal data seismologi dari USGS (*United States Geological Survey*).



Gambar 5. Diagram alur pelaksanaan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data yang telah diperoleh dikelompokkan berdasarkan waktu 0-3, 4-6, 7-9, 10-12 bulan, radius 0-50, 51-100, 101-150, dan magnitude >4Mw.

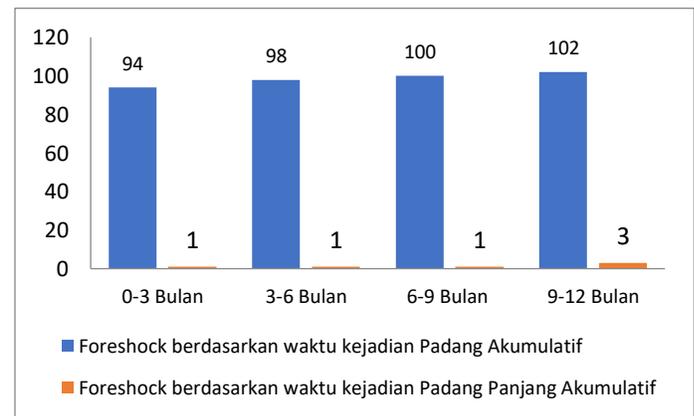
Gempa Foreshock

berdasarkan waktu kejadian,

Tabel 1. Gempa Foreshock berdasarkan waktu kejadian

Foreshock berdasarkan waktu kejadian				
Waktu (bulan)	Padang		Padang Panjang	
	Jumlah Gempa	Akumulatif	Jumlah Gempa	Akumulatif
0-3	94	94	1	1
3-6	4	98	0	1
6-9	2	100	0	1
9-12	2	102	2	3

Tabel 1 rangkaian gempa pendahulu sebelum gempa utama dalam kurun waktu 1 tahun pada radius 150 km dengan kekuatan $M > 4$. Hasil dari gempa Padang tercatat sebanyak 102 gempa. hasil tersebut lebih banyak dibandingkan dengan gempa Padang Panjang yaitu sebanyak 3 gempa.

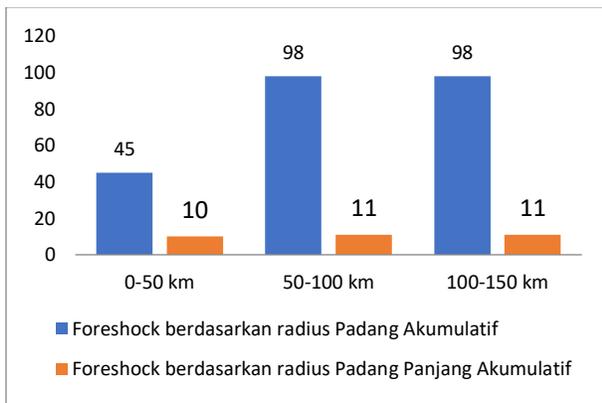


Gambar 6. Diagram distribusi gempa foreshock berdasarkan waktu.

Gempa foreshock berdasarkan radius (jarak).

Tabel 3. Gempa Foreshock Berdasarkan Radius

Foreshock berdasarkan radius				
Radius	Padang		Padang Panjang	
	Jumlah Gempa	Akumulatif	Jumlah Gempa	Akumulatif
0-50 km	45	45	10	10
50-100 km	53	98	1	11
100-150km	0	98	0	11



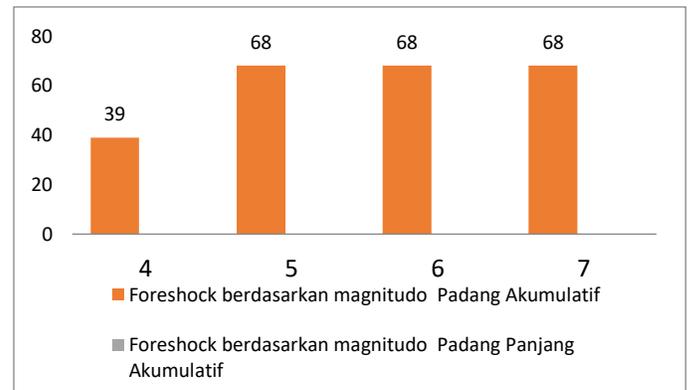
Gambar 7. Diagram distribusi gempa foreshock berdasarkan jarak (radius)

Tabel 3 dan gambar 7 menginformasikan gempa pendahulu atau foreshock untuk gempa Padang tercatat pada radius 0-50 km dari pusat gempa utama sebanyak 45 gempa, pada radius 50-100 km tercatat sebanyak 53 gempa, dan pada radius 100-150 km tidak ada terjadi gempa. Dibandingkan dengan gempa Padang, gempa Padang Panjang lebih sedikit terjadi foreshock pada radius 0-50 km terjadi sebanyak 10 gempa, pada radius 50-100 km terjadi sebanyak 1 kali gempa, sedangkan pada radius 100-150 km tidak ada terjadi gempa.

Gempa foreshock berdasar magnitude.

Tabel 4. Gempa Foreshock Berdasarkan Magnitudo

Foreshock berdasarkan magnitudo				
Magnitudo (Mw)	Padang		Padang Panjang	
	Jumlah Gempa	Akumulatif	Jumlah Gempa	Akumulatif
4	39	39	0	0
5	29	68	0	0
6	0	68	0	0
7	0	68	0	0



Gambar 8. Diagram distribusi gempa foreshock berdasarkan magnitud (Mw).

Pada tabel 4 dan gambar 8 diatas gempa pendahulu wilayah Padang dengan jangka waktu 1 tahun pada radius 150 km dari pusat gempa utama dalam kekuatan $M > 4$ terjadi sebanyak 39 gempa, pada kekuatan $M > 5$ terjadi sebanyak 29 gempa, dan pada kekuatan $M > 6$ dan $M > 7$ tidak ada terjadi gempa. Sedangkan, di Padang Panjang tidak ada terjadi gempa pendahulu atau foreshock.

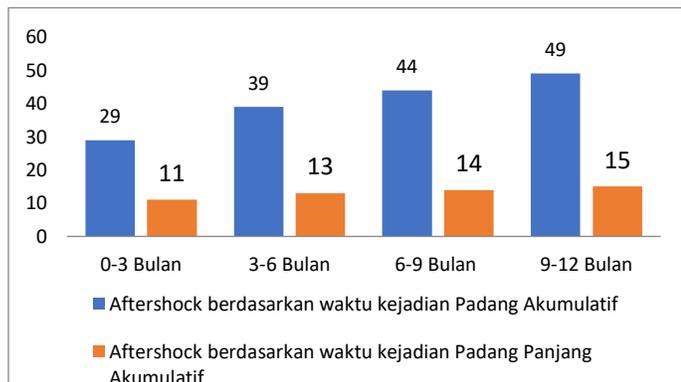
Aftershock

Aftershock berdasarkan waktu kejadian.

Data yang diperoleh dikelompokkan berdasarkan waktu kejadian seperti pada tabel 5 dan gambar 9.

Tabel 5. Gempa *foreshock* berdasarkan waktu kejadian

Aftershock berdasarkan waktu kejadian				
Waktu	Padang		Padang Panjang	
	Jumlah Gempa	Akumulatif	Jumlah Gempa	Akumulatif
0-3 Bulan	29	29	11	11
3-6 Bulan	10	39	2	13
6-9 Bulan	5	44	1	14
9-12 Bulan	5	49	1	15



Gambar 9. Diagram distribusi gempa aftershock berdasarkan waktu kejadian.

Berdasarkan tabel 5 dan gambar 9, aktivitas gempa susulan setelah gempa utama dalam durasi 1 tahun pada radius 150 km dengan kekuatan $M > 4$ untuk gempa Padang tercatat sebanyak 49 gempa, sedangkan untuk gempa Padang Panjang terjadi sebanyak 15 gempa.

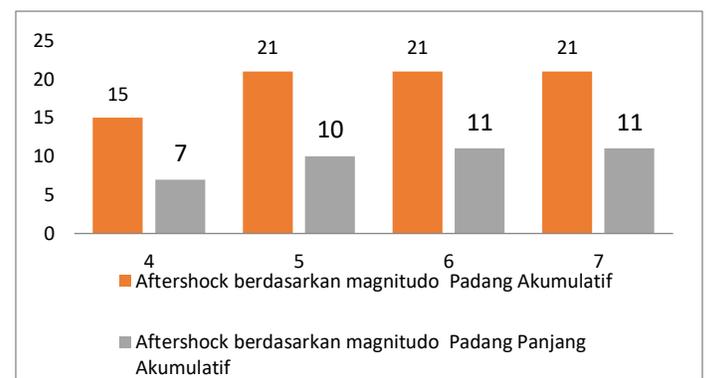
Gempa aftershock berdasar magnitud

Berdasarkan tabel 6 dan gambar 10, gempa susulan wilayah Padang dengan jangka waktu 1 tahun pada radius 150 km dari pusat

gempa utama dalam kekuatan $M > 4$ terjadi sebanyak 15 gempa, pada kekuatan $M > 5$ terjadi sebanyak 6 gempa, dan pada kekuatan $M > 6$ dan $M > 7$ tidak ada terjadi gempa. Sedangkan, di Padang Panjang pada $M > 4$ terjadi sebanyak 7 kali gempa, pada $M > 5$ terjadi sebanyak 3 kali gempa, Pada $M > 6$ terjadi sebanyak 1 kali gempa, dan pada $M > 7$ tidak ada terjadi gempa.

Tabel 6. Gempa *aftershock* berdasarkan waktu magnitud

Aftershock berdasarkan magnitudo				
Magnitudo	Padang		Padang Panjang	
	Jumlah Gempa	Akumulatif	Jumlah Gempa	Akumulatif
4	15	15	7	7
5	6	21	3	10
6	0	21	1	11
7	0	21	0	11

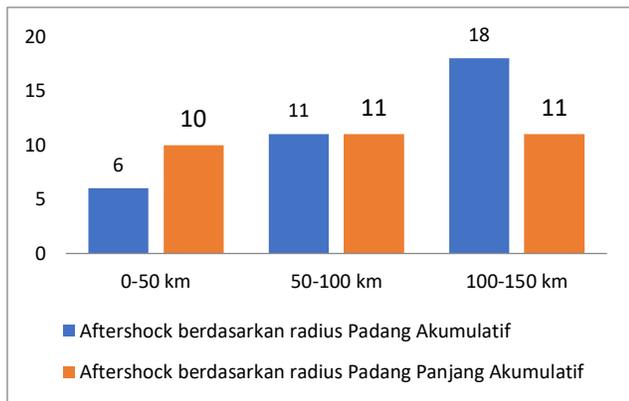


Gambar 10. Diagram distribusi gempa aftershock berdasarkan magnitud.

Gempa *aftershock* berdasar radius

Tabel 7. Gempa *Aftershock* Berdasarkan Radius

Aftershock berdasarkan radius				
Radius	Padang		Padang Panjang	
	Jumlah Gempa	Akumulatif	Jumlah Gempa	Akumulatif
0-50 km	6	6	10	10
50-100 km	5	11	1	11
100-150 km	7	18	0	11

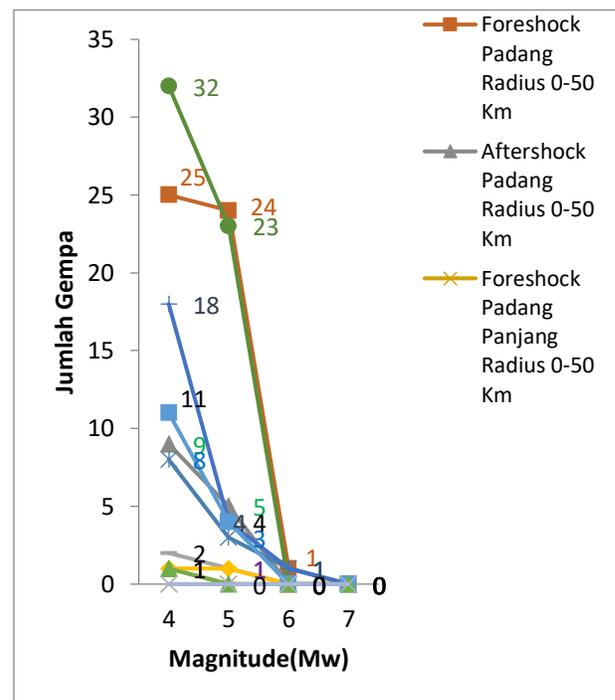


Gambar 11. *Aftershock* Berdasarkan Radius

Berdasarkan tabel 7 dan gambar 11 gempa susulan di Padang tercatat pada radius 0-50 km dari pusat gempa utama sebanyak 6 gempa, pada radius 50-100 km tercatat sebanyak 5 kali gempa, dan pada radius 100-150 km terjadi sebanyak 7 kali gempa. Dibandingkan gempa Padang, gempa Padang Panjang pada radius 0-50 km lebih banyak yaitu berjumlah 10 kali gempa, pada radius 50-100 km terjadi sebanyak 1 kali gempa, dan pada radius 100-150 km tidak ada terjadi gempa.

Hasil Rekapitulasi Data Gempa *Foreshock* dan *Aftershock* yang Terjadi di Kota Padang 2009 dan Padang Panjang 2007 M>4.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa gempa *foreshock* dan *aftershock* yang terjadi di kota Padang 2009 dan Padang Panjang 2007 adalah sebagai berikut:



Gambar 18. Rekapitulasi gempa *foreshock* dan *aftershock* Padang 2009 dan Padang Panjang 2007

Berdasarkan hasil analisis karakteristik gempa *foreshock* dan *aftershock* pada gempa Padang 2009 dan Padang Panjang 2007 pada sumber gempa *intraplate* (tabel 8 dan gambar 12), maka dapat diambil kesimpulan bahwa karakteristik gempa pendahulu (*foreshock*) di Padang dalam jangka waktu 1 tahun lebih banyak dibandingkan dengan Padang Panjang yaitu sebanyak 25 gempa pada radius 0-50 km, 32 gempa pada radius 50-100 km, dan pada radius 100-150 km terjadi sebanyak 1 kali gempa. Sedangkan, pada

aftershock nya lebih aktif juga dibandingkan dengan gempa Padang Panjang.

KESIMPULAN

Aktivitas gempa di wilayah Padang sangat tinggi terlebih setelah terjadinya gempa bumi pada tahun 2009 lalu. Secara garis besar nilai *foreshock* dari katalog USGS sangat tinggi dibandingkan dengan *aftershock* pada tahun 2009 lalu sebelum dan sesudah *mainshock* terjadi. Berdasarkan katalog USGS nilai *foreshock* pada kurun waktu 1 tahun sebelum gempa utama terjadi berkisar 102 gempa. Sedangkan nilai *aftershock* pada kurun waktu 1 tahun berkisar 49 gempa. Berbeda halnya dengan gempa yang terjadi pada 2007 lalu yang berpusat di Padang Panjang dengan magnitude 6,4 MW. Gempa yang terjadi pada 2007 itu nilai *foreshock* dalam kurun waktu 1 tahun berjumlah 2 kali gempa. Sedangkan pada *aftershock* nya dalam kurun waktu 1 tahun berjumlah 15 gempa. Kedua katalog tersebut menunjukkan bahwa Pulau Sumatera Barat merupakan wilayah yang sering terjadi aktifitas *seismic* gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Braunmiller, Earthquake Mechanisms and Tectonics, in: *Encycl. Earthq. Eng.*, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_297-1.
- [2] Z. Zhan, Mechanisms and Implications of Deep Earthquakes, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 48 (2020). <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-053018-060314>.
- [3] B.A. Bolt, The Nature of Earthquake Ground Motion, in: *Seism. Des. Handb.*, 1989. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9753-7_1.
- [4] D.H. Natawidjaja, Major Bifurcations, Slip Rates, and A Creeping Segment of Sumatran Fault Zone in Tarutung-Sarulla-Sipirok-Padangsidempuan, Central Sumatra, Indonesia, *Indones. J. Geosci.* 5 (2018). <https://doi.org/10.17014/ijog.5.2.137-160>.
- [5] W. Suwondo, A. Naibaho, Earthquake Potential Hazard Analysis of Palembang City, Sumatra Island. *Indones. J. Geosci.* (2021).
- [6] J.F. Genrich, Y. Bock, R. McCaffrey, L. Prawirodirdjo, C.W. Stevens, S.S.O. Puntodewo, C. Subarya, S. Wdowinski, Distribution of slip at the northern Sumatran fault system, *J. Geophys. Res. Solid Earth.* (2000). <https://doi.org/10.1029/2000jb9001>.
- [7] H.R.P. Arajuli, SEISMIC HAZARD ANALYSIS FOR INDONESIA Rusnardi Rahmat P UTRA **, Junji K IYONO ***, Yusuke O NO ****, *Geophys. J. Int.* (2012).
- [8] R.R. Putra, J. Kiyono, A. Furukawa, Vulnerability assessment of non engineered houses based on damage data of the 2009 padang earthquake in Padang city, Indonesia, *Int. J. GEOMATE.* (2014). <https://doi.org/10.21660/2014.14.140714>.
- [9] Y. Zhang, X. Zheng, Q. Chen, X. Liu, X. Huang, Y. Yang, Q. Xu, J. Zhao, Automatic inversion of rupture processes of the foreshock and mainshock and correlation of the seismicity during the 2019 Ridgecrest earthquake sequence, *Seismol. Res. Lett.* 91 (2020). <https://doi.org/10.1785/0220190343>.
- [10] M. Vallée, Rupture properties of the giant Sumatra earthquake imaged by empirical green's function analysis, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 97 (2007). <https://doi.org/10.1785/0120050616>.

- [11] S. Yabe, S. Ide, Why Do Aftershocks Occur Within the Rupture Area of a Large Earthquake?, *Geophys. Res. Lett.* 45 (2018).
<https://doi.org/10.1029/2018GL077843>.
- [12] M.R. Daryono, D.H. Natawidjaja, K. Sieh, Twin-surface ruptures of the March 2007 $M > 6$ earthquake doublet on the Sumatran fault, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 102 (2012).
<https://doi.org/10.1785/0120110220>.
- [13] R.R. Putra, Damage investigation and re-analysis of damaged building affected by the ground motion of the 2009 padang earthquake, *Int. J. GEOMATE.* (2020).
<https://doi.org/10.21660/2020.66.Icee2nd>.
- [14] R. R, Estimation of Earthquake Ground Motion in Padang, Indonesia, *Int. J. Geomate.* (2011).
<https://doi.org/10.21660/2011.1p>.
- [15] Rusnardi Rahmat Putra, Yusuke Ono, Nurhasan Syah, Seismic Performance Evaluation of Existing Building in Earthquake Prone Area Based on Seismic Index and Seismic Demand Method, *Civ. Eng. Archit.* 9 (2021)