

ESTIMASI PELUANG GEMPA BUMI MENGGUNAKAN METODE MAKSIMUM LIKELIHOOD DAN DISTRIBUSI POISSON DI WILAYAH SULAWESI TENGAH

Jamidun¹, Nur'Eni², dan Rais³

¹Program Studi Teknik Geofisika Jurusan Fisika

^{2,3}Program Studi Statistika Jurusan Matematika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako

1nureniuntad@gmail.com, 3rais76_untad@yahoo.co.id

ABSTRACT

Central Sulawesi is one of the areas frequently hit by earthquakes. This indicates that this area has quite high seismic activity. Geologically, this region is under pressure due to the interaction of the collision of the world's 3 main plates, namely the Eurasian, Indo-Australian and Pacific plates. As a result of this collision, several active faults were formed. The earthquake that caused liquefaction and tsunami in Central Sulawesi on September 28 2018, the source of the earthquake was in the Palu Koro fault line at a depth of 10 km below sea level at a distance of 80 km northwest of Palu City. Until now, no expert can predict the exact time of a major earthquake. For this reason, through this study we have taken an approach to predicting the time of this earthquake by carrying out statistical analysis using the maximum likelihood method and Poisson distribution from data on earthquakes that have occurred. The value of the seismotectonic parameter (b) from the relationship between magnitude and frequency of earthquakes, obtained the largest b value in region I for medium earthquakes, namely 0.8065, this states that region I is an area prone to earthquakes because of its ability to reduce energy. The displacement of the fault is relatively small so that the level of fragility of the material contained in the earth means that if a slight force is applied, a fault will occur and then an earthquake will occur.

Keywords : Central Sulawesi, Earthquake, Mitigation, Likelihood Method, Poisson Distribution

ABSTRAK

Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah yang sering dilanda gempa bumi. Hal ini mengindikasikan bahwa daerah ini memiliki aktifitas seismik yang cukup tinggi. Secara geologi wilayah ini mendapat tekanan karena interaksi tumbukan 3 lempeng utama dunia yakni lempeng Eurasia, Indo Australia dan Pasifik Akibat tumbukan tersebut menyebabkan terbentuknya beberapa Sesar yang aktif. Gempa bumi yang menyebabkan liquifaksi dan sunami di Sulawesi Tengah pada 28 September 2018 sumber gempunya berada dijalur lintasan sesar Palu Koro di kedalaman 10 km di bawah dasar permukaan laut pada jarak 80 km barat laut Kota Palu. Waktu kejadian gempa bumi besar hingga saat ini belum ada ahli yang bisa meprediksi secara tepat. Untuk itu melalui kajian ini kami melakukan pendekatan untuk memprediksi waktu kejadian gempa bumi ini dengan melakukan analisis secara

statistik menggunakan metode maksimum likelihood dan distribusi Poisson dari data data gempa bumi yang pernah terjadi. Nilai parameter seismotektonik (b) dari hubungan magnitudo dengan frekuensi gempa bumi, diperoleh nilai b yang terbesar pada region I untuk gempa menengah yakni sebesar 0,8065, hal ini menyatakan bahwa pada daerah region I merupakan daerah rawan terjadi gempa bumi karena kemampuan untuk meredam energi penggeseran sesar relatif kecil sehingga tingkat kerapuhan material yang tersusun di dalam bumi tersebut yang jika diberi gaya sedikit akan terjadi patahan dan kemudian terjadilah gempa bumi.

Kata Kunci : Sulawesi Tengah, Gempa Bumi, Mitigasi, Metode Likelihood, Distribusi Poisson.

I. PENDAHULUAN

Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah yang sering dilanda gempa bumi. Hal ini mengindikasikan bahwa daerah ini memiliki keaktifan seismik yang cukup tinggi. Secara geologi wilayah ini mendapat tekanan karena interaksi tumbukan 3 lempeng utama dunia yakni lempeng Eurasia, Indo Australia dan Pasifik (Jamidun et al., 2019). Akibat tumbukan tersebut menyebabkan terbentuknya beberapa Sesar yang aktif seperti Sesar Lawanopo, sesar Palu Koro dan Sesar Matano. Gempa bumi yang menyebabkan liquifaksi dan tsunami di Sulawesi Tengah pada 28 September 2018 sumber gempanya berada di jalur lintasan sesar Palu Koro di kedalaman 10 km di bawah dasar permukaan laut pada jarak 80 km barat laut Kota Palu (Wikipedia, 2018).

Gempa ini menyebabkan kerusakan 66.390 rumah hancur dan korban jiwa meninggal 2.045 orang, 5000 orang hilang, 632 luka-luka dan 16.732 penduduk mengungsi (BNPB 10 Oktober 2018). Kejadian gempa bumi besar yang menyebabkan liquifaksi dan tsunami di daerah ini di Sulawesi Tengah merupakan pengulangan dari sebelumnya tahun 1968 yang berarti selang waktu 50 Tahun. Tapi waktu 50 tahun ini bukanlah waktu yang tetap karena sebelum tahun 1968 terjadi juga gempa bumi besar menurut data pada tahun 1926 dan 1938 (Abdullah, 2005). Melihat data gempa ini maka tentunya perlu ada usaha untuk melakukan usaha mitigasi bencana perlu dilakukan untuk meminimalisasi korban yang bisa terjadi. Menurut kajian ilmu Geofisika gempa bumi selalu terjadi di daerah batas lempeng subduksi seperti gempa bumi dan tsunami Aceh lalu. Selain itu gempa yang terjadi di sepanjang lintasan sesar aktif seperti Sesar palu Koro yang memanjang dari utara Teluk Bone hingga ke utara melewati desa Koro terus ke Kota Palu bagian Barat hingga ke laut sampai laut Sulawesi di Utara Kota Buol. Hingga saat ini belum ada ahli kegempaan di seluruh dunia yang bisa memprediksi kapan gempa bumi akan terjadi. Oleh karena itu kita yang hidup di daerah yang rawan gempa bumi karena berada di sekitar Sesar Palu Koro perlu melakukan usaha mitigasi. Dalam melakukan usaha mitigasi maka karakteristik gempa yang terjadi perlu dianalisis lebih lanjut secara statistik dari data-data yang ada, yang nantinya dapat dijadikan standar dalam penyusunan skenario mitigasi di daerah Sulawesi Tengah.

Kejadian gempa merupakan rangkaian peristiwa yang terjadi menurut urutan waktu dalam ruang kejadian tertentu. Sehingga apabila dilakukan pengamatan kejadian dalam waktu (t) tahun akan diperoleh data sebanyak (n) kejadian gempa bumi dengan besaran magnitudo (M) dan kedalaman (h)

yang tidak seragam. Data tersebut merupakan variabel statistik yang kemudian dapat diolah untuk mendapatkan parameter-parameter kegempaan yang diinginkan berdasarkan hubungan-hubungan persamaan dalam fungsi maksimum Likelihood dan distribusi Poisson. Metode maksimum Likelihood digunakan untuk menentukan parameter seismotektonik (b value) yang merupakan suatu parameter seismologi atau kejadian yang terjadi di dalam bumi yang menjelaskan karakteristik gempa bumi suatu daerah yang terikat pada sifat batuan daerah tersebut. Sementara distribusi poisson digunakan untuk mengetahui bagaimana teknik mengestimasi peluang terjadinya gempa bumi di Sulawesi Tengah.

Dari uraian latar belakang di atas maka dapat diturunkan permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Bagaimana mencari nilai parameter seismotektonik dari hubungan magnitudo dengan frekuensi gempa bumi dengan menggunakan metode maksimum Likelihood.
2. Bagaimana mencari Estimasi peluang terjadinya gempa bumi di daerah Sulawesi Tengah dengan menggunakan distribusi Poisson.

Dari Permasalahan di atas maka Penelitian memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan nilai parameter seismotektonik dari hubungan magnitudo dengan frekuensi gempa bumi dengan menggunakan metode maksimum Likelihood.
2. Untuk mengetahui Estimasi peluang terjadinya gempa bumi di daerah Sulawesi Tengah menggunakan Distribusi Poisson.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Tempat Penelitian

Lokasi Penelitian melingkupi semua data-data gempa dari tahun 2017-2022 di Sulawesi Tengah di sepanjang sesar palu Koro data ini diperoleh dari BMKG dan mengolahnya di Laboratorium Statistika Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako Palu Sulawesi Tengah.

2.2. Data Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu data gempa bumi Sulawesi Tengah dari BMKG tahun 2017 – 2022. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data kuantitatif. Variabelnya terdiri atas variabel bebas (independen) yaitu jangka waktu (t) dan variabel tak bebas (dependen) yaitu magnitudo (M), kedalaman (h) dan frekuensi gempa.

2.3. Teknik Analisis Data

Untuk mempermudah proses perhitungan matematis digunakan bantuan Microsoft excel. Untuk prosedur pengolahan data pada penelitian ini menggunakan beberapa metode dan tahapan.

2.3.1. Pengolahan Data dengan Metode Distribusi Poisson

Perhitungan distribusi poisson dari kejadian gempa bumi di Wilayah Sulawesi Tengah dilakukan dengan menggunakan rumus distribusi poisson, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung seluruh data dari BMKG dari tahun 2000 -2020. Pada zone 30 LU – 30 LS dan 1180 – 1240.
2. Menentukan daerah penelitian dengan cara membagi daerah secara geografis dalam 2 wilayah yaitu Sulawesi Tengah bagian utara dan selatan. Hal ini dilakukan agar lebih teliti sehingga mendapatkan nilai poisson dan kemungkinan terjadinya gempa bumi pada daerah penelitian (Yudha, 2006).
3. Perhitungan menggunakan rumus distribusi poisson untuk setiap wilayah setelah diperoleh, lalu menentukan kemungkinan gempa bumi dan dibandingkan hasilnya untuk setiap wilayah.

2.3.2. Pengolahan Data dengan Metode Maksimum Likelihood

Untuk metode maksimum likelihood langkah-langkah pengolahan data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Menghimpun seluruh data dari BMKG dari tahun 2017 - 2022.
2. Pada zona 30 LU – 30 LS dan 1180 - 1240BT.
3. Menentukan daerah penelitian dengan cara membagi daerah secara geografis dalam 2 wilayah yaitu Sulawesi Tengah bagian utara dan selatan. Hal ini dilakukan agar lebih teliti dan dapat mengetahui harga a (seimistas) dan b (keadaan tektonik) dan peluang terjadinya gempa bumi pada daerah penelitian. Data parameter gempa yang terdiri dari waktu kejadian, lokasi, dan magnitude (Yudha, 2006).
4. Perhitungan menggunakan rumus metode maksimum Likelihood untuk mendapatkan nilai a dan b. Setelah nilai peluang terjadinya gempa bumi dari rumus distribusi poisson diperoleh serta nilai a dan b didapatkan dari metode maksimum Likelihood.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengamatan

3.1.1. Data Pengamatan

Daerah penelitian mencakup wilayah Sulawesi Tengah dengan batasan koordinat 3° Lu - 3° Ls dan $118 - 124^{\circ}$ BT. Untuk keperluan ini dibutuhkan katalog gempa yang memuat parameter-parameter dasar gempa pada selang waktu pengamatan 5 tahun (2017-2022) sebagai data sampel pengolahan, dan untuk efektifitas kerja

penelitian ini, maka hanya mengambil gempa dengan kekuatan $M \geq 4,0$ SR dan $h \leq 100$ Km, dengan pertimbangan masih dapat memberikan hasil yang akurat.

Sebagai proses analisa data, maka data yang diperoleh akan dibagi ke dalam 2 wilayah atau region, ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil yang lebih detail. Rujukan pembagian ini didasarkan atas asumsi adanya keragaman batuan setempat dengan melihat profil distribusi gempa yang terjadi selama selang waktu pengamatan.

Pembagian Region Pengamatan

Region I : 3° Lu - 3° Ls dan 118 BT – 121°
Meliputi daerah Tolitoli, Donggala, Pasangkayu, Parigi, Poso dan Kota Palu.

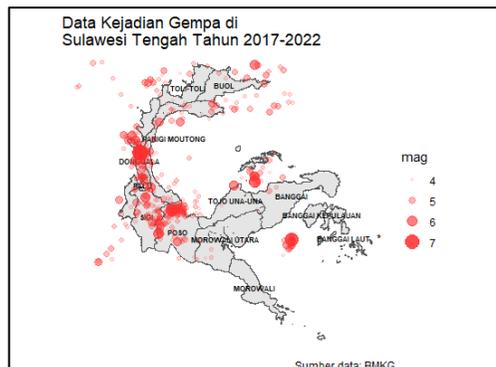
Region II : 3° Lu - 3° Ls dan 118 BT – 124°
Meliputi daerah Buol, Ampana, Bungku, dan Luwuk

Komposisi data kejadian menurut region dan lapisan kedalaman

Region I	: Gempa Dangkal	265
	Gempa Menengah	13
	Gempa Dalam	0
	Jumlah	278
Region II	: Gempa Dangkal	64
	Gempa Menengah	21
	Gempa Dalam	0
	Jumlah	85

3.1.2. Peta Sebaran Titik Gempa Bumi

Hasil dari penelitian ini berupa gambaran peta sebaran titik gempa bumi dari tahun 2017 – 2022 di Sulawesi Tengah. Pemetaan dilakukan untuk melihat resiko kejadian gempa bumi di setiap wilayah. Peta sebaran titik gempa dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 : Peta Sebaran Titik Gempa Bumi

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa sebaran titik gempa banyak terjadi pada Region 1 yaitu meliputi daerah Tolitoli, Donggala, Pasangkayu, Parigi, Poso dan Kota Palu. Hal ini terjadi karena beberapa tahun terakhir khususnya pada tahun 2018 terjadi gempa bumi yang sangat besar di wilayah Donggala dan Kota Palu. Sehingga banyak terjadi gempa susulan setelahnya. Selain itu hal ini disebabkan karena sesar Palu-Koro memanjang di sepanjang Region I sehingga rawan terjadi gempa bumi.

Terjadinya gempa ini menimbulkan kerugian yang berbeda-beda, namun hal ini tetap saja merugikan lingkungan yang ada di sekitar sumber gempa tersebut. Tindakan pencegahan atau penanggulangan dini sangat diperlukan dalam mengatasi kerugian yang ditimbulkan gempa bumi.

3.1.3. Menghitung Paramater 'a' dan 'b' menggunakan Maksimum Likelihood

Paramater 'a' dan 'b' merupakan konstanta korelasi frekuensi dengan magnitudo dalam fungsi linear $\log N = a + b \cdot M$. Dalam penelitian ini perhitungan harga parameter tersebut dilakukan secara terpisah menurut lapisan kedalaman pada tiap-tiap region pengamatan dengan menggunakan metode Maksimum Likelihood.

a. Perhitungan Paramater 'a' dan 'b' pada Region I :

- Untuk nilai b dengan menggunakan Persamaan (2.1) pada gempa dangkal

Region I :

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} = \frac{0,4343}{4,5947 - 4} = 0,7303 \quad (2.1)$$

dimana:

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n Mn}{\sum_{i=1}^n n} = \frac{1217,6}{265} = 4,5947$$

$$M_0 = \text{magnitudo minimum dari data gempa} = 4,0$$

- Untuk nilai a dengan menggunakan Persamaan (2.2) pada data gempa dangkal Region I :

$$a = \log N + \log (b \ln 10) + M_0 b$$

$$a = \log 265 + \log (0,7303 \ln 10) + (4) (0,7303)$$

$$a = 5,5699$$

(2.2)

- Untuk nilai b dengan menggunakan Persamaan (2.1) pada gempa menengah Region I :

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} = \frac{0,4343}{4,5384 - 4} = 0,8065$$

dimana:

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n Mn}{\sum_{i=1}^n n} = \frac{56}{13} = 4,5384$$

$$M_0 = \text{magnitudo minimum dari data gempa} = 4,0$$

- Untuk nilai a dengan menggunakan Persamaan (2.2) pada data gempa

menengah Region I :

$$a = \log N + \log (0,8065 \ln 10) + (4) (0,8065)$$

$$a = \log 13 + \log (0,8065 \ln 10) + (4)(0,8065)$$

$$a = 4,6090$$

b. Perhitungan Paramater 'a' dan 'b' pada Region II :

- Untuk nilai b dengan menggunakan Persamaan (2.1) pada gempa dangkal

Region II:

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} = \frac{0,4343}{4,6734 - 4} = 0,6449$$

dimana:

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n Mn}{\sum_{i=1}^n n} = \frac{299,1}{64} = 4,6734$$

$M_0 = \text{magnitudo minimum dari data gempa} = 4,0$

- Untuk nilai a dengan menggunakan Persamaan (2.2) pada data gempa dangkal Region II :

$$a = \log N + \log (b \ln 10) + M_0 b$$

$$a = \log 64 + \log (0,6449 \ln 10) + (4)(0,6449)$$

$$a = 4,5574$$

- Untuk nilai b dengan menggunakan Persamaan (2.1) pada gempa menengah Region II :

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} = \frac{0,4343}{4,5476 - 4} = 0,7930$$

dimana:

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n Mn}{\sum_{i=1}^n n} = \frac{95,5}{21} = 4,5476$$

$M_0 = \text{magnitudo minimum dari data gempa} = 4,0$

- Untuk nilai a dengan menggunakan Persamaan (2.2) pada data gempa menengah Region II :

$$a = \log N + \log (b \ln 10) + M_0 b$$

$$a = \log 21 + \log (0,7930 \ln 10) + (4) (0,7930)$$

$$a = 4,7560$$

Berdasarkan fungsi-fungsi pengolahan tersebut diperoleh keseluruhan nilai-nilai paramater 'a' dan 'b' untuk setiap region yang dibentuk ke dalam Tabel 1.

Tabel 1 : Hasil Perhitungan parameter a dan b

Region		M	f	b	b atas	b bawah	a
I	Gempa Dangkal	4,5947	265	0,7302	0,8182	0,6423	5,5699
	Gempa Menengah	4,5384	13	0,8065	1,2451	0,3681	4,6090
II	Gempa Dangkal	4,6734	64	0,6449	0,8029	0,4869	4,5574
	Gempa Menengah	4,5476	21	0,7930	1,1323	0,4539	4,7560

3.1.4. Peluang Resiko Kegempaan Menggunakan Distribusi Poisson

Pada penelitian ini perhitungan dan analisa probabilitas kejadian gempa dihitung secara terpisah menurut region-region pengamatan dalam selang waktu (T) = 1 tahun.

Untuk keperluan pengolahan, data kegempaan tiap region disusun menurut jumlah kejadian untuk masing-masing tahun pengamatan dinyatakan (r) dan jumlah tahun pengamatan dengan frekuensi kejadian gempa yang sama dinyatakan sebagai (n) yang disusun sebagai data *range* satuan.

Berdasarkan distribusi peluang poisson pada Persamaan (2.6) diperoleh peluang resiko kejadian gempa untuk setiap region sebagai berikut:

Region I:

Peluang terbesar kejadian gempa bumi pada Region I yang meliputi daerah Tolitoli, Donggala, Pasangkayu, Parigi, Poso, dan Kota Palu yaitu pada posisi r bernilai 19 dan 20 yaitu sebesar 0,088.

Region II:

Peluang terbesar kejadian gempa bumi pada Region II yang meliputi daerah Buol, Ampana, Bungku, dan Luwuk yaitu pada posisi r bernilai 23 dan 24 yaitu sebesar 0,081.

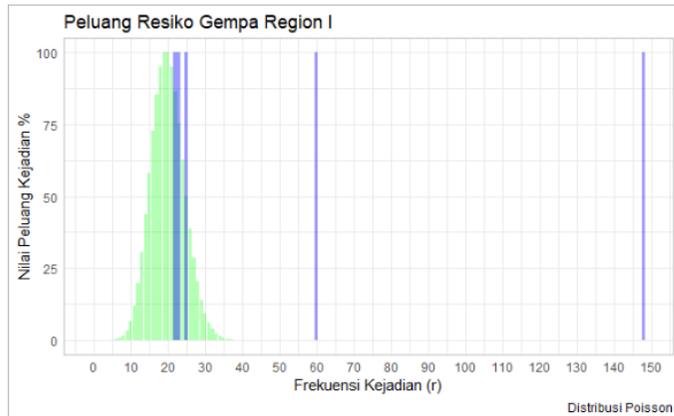
3.2. Pembahasan

3.2.1. Parameter 'a' dan 'b' Menggunakan Maksimum Likelihood

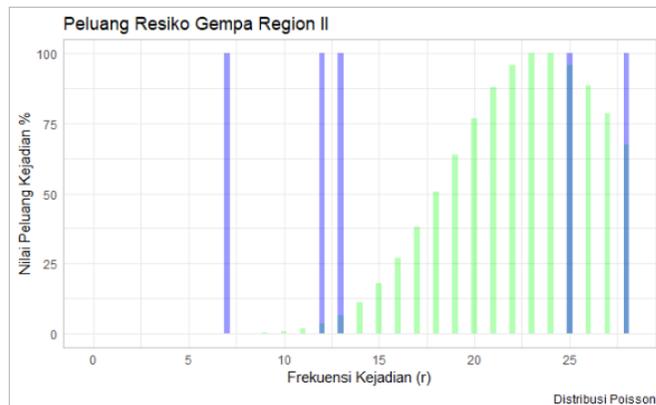
Dalam Tabel 1 terdapat nilai-nilai parameter seismotektonik yang memperlihatkan harga b terbesar terdapat pada region I yaitu sebesar 0,8065 dan nilai a sebesar 5,5699. Nilai ini dapat menjadi petunjuk bahwa batuan batuan tektonik pada daerah Sulawesi Tengah secara umum tergolong dalam batuan yang rapuh dengan tingkat kerapuhan sesuai dengan nilai parameter seismotektonik (b) nya masing-masing, nilai b yang relatif rendah menunjukkan bahwa resiko kejadian gempa kuat pada kawasan ini cukup tinggi. Dan nilai a terbesar terdapat pada region I yaitu sebesar 5.5699, nilai a menunjukkan jumlah kejadian relatif rendah, karena harga parameter a merupakan besaran tingkat kegempaan yang dapat menjadi petunjuk besar kecilnya frekuensi kejadian gempa pada daerah pengamatan. Untuk nilai \bar{b} merupakan batas tertinggi dan \underline{b} merupakan batas terendah dari harga parameter b bersangkutan. Nilai \bar{b} dan \underline{b} terbesar terdapat pada region I yaitu masing-masing bernilai 1.2451 dan 0.3681. Nilai-nilai \bar{b} dan \underline{b} dapat menjadi ukuran sejauh mana kemungkinan penyimpangan nilai b yang dihasilkan. Harga b yang besar menunjukkan bahwa kejadian gempa yang bermagnitudo besar memiliki frekuensi kejadian yang lebih rendah dibanding dengan harga b yang lebih rendah.

3.2.2. Peluang Resiko Kegempaan Menggunakan Distribusi Poisson

Hasil analisa merupakan aktifitas seismik dari masing-masing region. Adapun nilai distribusi Poisson dan distribusi sebenarnya (aktual) untuk masing-masing wilayah penelitian digambarkan secara bersamaan, $P(P(r))$ (%) menyatakan harga distribusi kemungkinan dalam persen sedangkan (r) menyatakan jumlah terjadinya gempa per tahun dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 2 : Grafik Distribusi Gempa Bumi Untuk Region 1



Gambar 3 : Grafik Distribusi Gempa Bumi Untuk Region II

Hasil yang didapat dari perhitungan distribusi poisson setelah digambarkan dalam bentuk grafik, diperoleh sebagai berikut:

- Pada region I untuk $P(r)\%$ poisson = 100% berada pada posisi 19 dan 20 kali dengan $P(r)$ aktual = 0% terjadi pada posisi $r = 19$ dan $r = 20$, ini dapat dikatakan kemungkinan terjadinya gempa dengan $M > 4.0$ dan $h \leq 100$ km terjadi pada posisi 19 dan 20 kali pertahun pada region I.
- Pada region II untuk $P(r)\%$ poisson = 100% berada pada posisi 23 dan 24 kali dengan $P(r)$ aktual = 0%, ini dapat dikatakan kemungkinan terjadinya gempa

dengan $M \geq 4.0$ dan $h \leq 100$ km terjadi pada posisi 23 dan 24 kali pada region II.

Berdasarkan hasil tersebut bahwa region I memiliki tingkat keaktifan seismik yang cukup tinggi dibandingkan dengan region II. Hal ini terjadi karena titik gempa tersebar lebih banyak pada Region I, mengingat bahwa dalam beberapa tahun terakhir pada Region I terdapat banyak kejadian gempa. Selain itu karena Sesar Palu Koro berada di Sulawesi Tengah pada region I. Ternyata secara garis besar dapat ditemukan bahwa distribusi sebenarnya selalu lebih rendah dari distribusi teoritisnya yaitu disekitar harga maksimumnya dan sebagian pada kedua ujung kedua kurva yang mempunyai harga besar.

Berdasarkan nilai-nilai yang diberikan secara umum dapat dijelaskan bahwa kepadatan frekuensi aktual kegempaan pada daerah penelitian memberikan nilai peluang maksimum mendekati nilai rata-rata kegempaan tiap tahun pada masing-masing region.

Dari kedua metode yang digunakan untuk menganalisis peluang gempa di wilayah Sulawesi Tengah yang telah dibagi kedalam dua wilayah bagian yaitu region I dan region II dengan menggunakan metode maksimum likelihood dan distribusi poisson di peroleh hasil bahwa region I memiliki peluang besar terjadinya gempa bumi. Hal ini dapat dilihat dari nilai b terbesar terdapat pada region I yaitu sebesar 0,8065 dan $P(r)$ sebesar 0,088 dengan $P(r)$ aktual sebesar 0%.

IV. KESIMPULAN

1. Nilai parameter seismotektonik (b) dari hubungan magnitudo dengan frekuensi gempa bumi dengan menggunakan metode maksimum likelihood, diperoleh nilai b yang terbesar pada region I untuk gempa menengah yakni sebesar 0,8065, hal ini menyatakan bahwa pada daerah region I merupakan daerah rawan terjadi gempa bumi karena kemampuan untuk meredam energi pergerakan sesar relatif kecil sehingga tingkat kerapuhan material yang tersusun di dalam bumi tersebut yang jika diberi gaya sedikit akan terjadi patahan dan kemudian terjadilah gempa bumi. Selain itu karena Sulawesi Tengah berada di sekitar Sesar Palu Koro.
2. Peluang terjadinya gempa bumi di daerah Sulawesi Tengah diperoleh dari nilai-nilai probabilitas kejadian tiap elemen yang memberikan gambaran besarnya peluang kejadian dengan frekuensi (r) tiap tahun berdasarkan probabilita poisson, hasilnya untuk region I didapat harga r gempa/tahun adalah 19 dan 20 kali pertahun dengan besar peluang adalah 0,088. $P(r)$ aktual = 0% terjadi pada posisi $r = 19$ dan $r = 20$, ini dapat dikatakan kemungkinan terjadinya gempa dengan $M \geq 4.0$ dan $h < 100$ km terjadi pada posisi 19 dan 20 kali pada region I dan untuk region II didapat harga r gempa/tahun adalah 23 dan 24 kali pertahun dengan besar peluang adalah 0,081 $P(r)$ aktual = 0% terjadi pada posisi $r = 23$ dan $r = 24$, ini dapat dikatakan kemungkinan terjadinya gempa dengan $M \geq 4.0$ dan $h \leq 100$ km terjadi pada posisi 23 dan 24 kali pertahun di region II.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdullah. (2005). Gempa Bora: Pemahaman dan Himbauan! (Vol.6), Sulawesi Tengah.
- [2]. Aki, K. (1965). Maximum Likelihood estimate of b value in the formula $\log N = a - b M$ and its confidence limits, *Bull. Earthquake Res* 43, 237-239.
- [3]. Franklin, A. G., Butler, D. K., Ptryck, D. M., Strohm Jr, W. E., & Hynes-Griffin, M. E. (1981). Foundation Considerations in Siting of Nuclear Facilities in Karst Terrains and Other Areas Susceptible to Ground Collapse.
- [4]. Gutenberg, B. (1945). Amplitudes of P, PP, and S and Magnitude of Shallow Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 35(2), 57–69.
- [5]. Ibrahim, G., & Subardjo. (2005). *Pendahuluan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- [6]. Jamidun, J., Rusydi, M., SB, K., P, S., & Suryanto, W. (2019). Analisis dan Model Inversi Gaya Berat 2D untuk Penampakan Sesar Palu Koro Di Sulawesi Tengah Indonesia. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 8(1), 77–86. <https://doi.org/10.22487/25411969.2019.v8.i1.12644>
- [7]. Marendra, M. R. A. (2015). *Geologi dan Karakteristik Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi pada Endapan Emas Epitermal Sulfidasi Tinggi di Seruyung, Kecamatan Sebuku, Kabupaten Nunukan, Provinsi Kalimantan Utara*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [8]. Richter, C. F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 25(1), 1–32.
- [9]. Suryani, T. A. (2007). *Analisis Komparatif Nilai Parameter Sismotektonik Dari Hubungan Magnitudo-Kumulatif dan Nonkumulatif untuk Jawa Timur Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil dan Metode maksimum Likelihood dari Data BMG dan USGS Tahun 1973-2003*. Skripsi S1 Jurusan Matematika Universitas Negeri Semarang.
- [10]. Sunarjo, Gunawan, M. T., & Pribadi, S. (2012). *Gempa Bumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
- [11]. Wikipedia. (2018). *Gempa Bumi dan Tsunami Sulawesi 2018*. Wikipedia. https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_bumi_dan_tsunami_Sulawesi_2018
- [12]. Yudha, W. L. (2006). *Analisis Kecelakaan Kerja Menggunakan Standar Ansi Z. 16.8 (Studi Kasus Laporan Kecelakaan Kerja Pada Pekerja PT. Alim Ampuhjaya Steel)*. Surabaya: Universitas Airlangga.