

Space-Time Permutational Scan Statistics untuk Mendeteksi Hotspot Kejadian Gempa Bumi di Sulawesi Tengah

Hasnul Yakin¹, Muhammad Kasim Aidid², Muhammad Nusrang³

^{1,2,3}Prodi Statistika FMIPA UNM MAKASSAR

e-mail: hasnulyakin@gmail.com

Abstract

Space-Time permutation scan statistics is a point grouping method based on space and time to identify an event (hotspot) to be spread evenly in every area or have grouping in a certain area and statistically significant. This method is applied for case data only. Hotspot is defined as something unusual, anomalies, case deviations, outbreaks of a disease, a high group or also called a critical area. This research used an earthquake incidence data in Central Sulawesi in 2017-2018. This analysis obtained 3 hotspots but only 2 hotspots were statistically significant with p-value of less than 0.05. The two hotspots are the main hotspots which cover Donggala Regency, Palu City, and Parigi Moutang Regency, while secondary hotspots include Sigi Regency and Poso Regency.

© 2019 Author(s). Published by Department of Statistics, Universitas Negeri Makassar. All rights reserved.

Keywords: Space-Time Permutation Scan Statistics, Hotspots, Earthquakes.

1. Introduction / Latar Belakang

Space-time permutation scan statistics merupakan metode yang dikembangkan oleh Martin Kulldorff dari metode Scan Statistics tahun 1997. Scan statistics adalah metode pengelompokan titik yang berdasar pada ruang (Kulldorff, 1997). Sedangkan metode space-time permutation scan statistics berdasar pada dimensi ruang maupun waktu untuk mengidentifikasi suatu kejadian (hotspot) tersebar merata di setiap area atau mengalami pengelompokan di suatu area tertentu dan signifikan secara statistik (Kulldorff, 2005). Kelompok dengan frekuensi tinggi tersebut dikenal sebagai most likely cluster. Hotspot sendiri didefinisikan sebagai sesuatu yang tidak biasa, anomali, penyimpangan kasus, perjangkitan suatu penyakit, gerombol yang tinggi atau disebut juga wilayah kritis (Patil dan Taillie, 2004). Untuk mendeteksi adanya hotspot digunakan prinsip pengujian hipotesis yang didasarkan pada uji rasio kemungkinan (log likelihood ratio/LLR).

Pengujian most likely cluster yang signifikan pada metode ini menggunakan simulasi Monte Carlo karena dianggap memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan dengan yang lain (Tango, 2005). Pada pengembangannya metode scan statistics dikembangkan menjadi beberapa model, untuk penerapannya peneliti menyesuaikan dengan tujuan penelitian, kondisi data serta model peluang yang sesuai. Pada umumnya metode ini diterapkan untuk mendeteksi hotspot suatu kasus dalam bidang kesehatan tetapi jarang diterapkan dalam disiplin ilmu yang lain. Space-time permutation scan statistics merupakan metode yang masih awam diterapkan di Indonesia. Berbeda dengan metode scan statistics yang lainnya telah diterapkan pada beberapa penelitian sebelumnya yaitu Geoinformatika pada Kasus Area Kecil dan Penerapannya untuk Mendeteksi Kantong-Kantong Kemiskinan di Jember oleh Titin Siswantining (2013), Pendeteksian Hotspot Kasus Pernikahan Dini Wanita di Jawa Barat

* Corresponding author.

E-mail address: xxxx@xxxxxx.edu (First Author)



Menggunakan Statistik Pemindaian Spasial oleh Pebrian (2015).

Keunggulan metode space time permutation scan statistics yaitu metode ini dapat mendeteksi hotspot dengan melakukan pemindaian statistik dengan hanya menggunakan data kasus dari setiap wilayah yang menjadi objek kajian tanpa membutuhkan data populasi (Kulldorff, 2005). Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan metode tersebut untuk mengkaji hotspot kejadian gempa bumi di Provinsi Sulawesi Tengah. Topik ini menjadi penting disebabkan oleh dua hal. Pertama, gempa bumi menjadi bencana yang memiliki potensi besar dalam merusak kelangsungan hidup manusia dan terjadi secara tiba-tiba. Pada umumnya Indonesia merupakan jalur ring of fire (jalur cincin api) dan terkhusus untuk Provinsi Sulawesi Tengah merupakan daerah rawan bencana gempa bumi dikarenakan letak Sulawesi Tengah yang berada pada batas pertemuan tiga lempeng tektonik aktif, yaitu lempeng Benua Australia yang bergerak ke utara, pergerakan lempeng samudra Pasifik yang bergerak ke Barat, dan lempeng Benua Eurasia yang relatif bergerak ke selatan tenggara (Bock, 2003). Gempa bumi juga menjadi perhatian pada Tahun 2018 di Sulawesi Tengah setelah gempa bumi terjadi di Donggala pada tanggal 28 September 2018 yang berkekuatan 7.5 Magnitudo sehingga menyebabkan 66.926 rumah rusak atau 99.4% kerusakan rumah disebabkan oleh gempa bumi (BNPB, 2018).

Alasan kedua yang menyebabkan pentingnya penelitian ini yaitu kebanyakan penelitian hanya menganalisa penyebab gempa bumi tanpa melakukan pengelompokan wilayah terdampak gempa bumi berdasarkan potensi risiko yang ditimbulkan sebagai bentuk mitigasi bencana atau upaya tanggap bencana. Berdasarkan uraian di atas, maka telah dilakukan pengidentifikasian daerah kritis Kejadian gempa bumi di Indonesia pada tahun 2017-2018 dengan menggunakan Space Time Permutation Scan Statistics. Artinya, dalam penelitian ini telah diperoleh informasi apakah ada wilayah geografis yang memiliki jumlah kejadian gempa bumi yang lebih banyak daripada yang diharapkan jika risiko gempa bumi merata di setiap area di Sulawesi Tengah.

2. Kajian Pustaka

2.1 Spatial Scan Statistics

Spatial scan statistics merupakan metode yang dikembangkan oleh Kulldorff Tahun 1997 yang berdasar pada dimensi ruang untuk mengidentifikasi suatu kejadian tersebar merata di setiap area atau mengalami pengelompokan di suatu area tertentu dan signifikan secara statistik. Definisi lain yang serupa menyatakan bahwa spatial scan statistics merupakan metode yang mempertimbangkan unsur spasial dalam mengidentifikasi kelompok kejadian yang memiliki resiko tinggi maupun rendah dari suatu kejadian, serta menguji proporsi suatu daerah terhadap daerah yang lain (Jung, 2005). Hotspot didefinisikan sebagai sesuatu yang tidak biasa, anomali, penyimpangan, perjangkitan suatu penyakit, gerombol yang tinggi atau disebut juga wilayah kritis (Patil dan Taillie, 2004). Sedangkan menurut Horan, hotspot adalah wilayah yang memiliki karakteristik yang konsisten daripada daerah di sekitarnya. Penentuan hotspot pada spatial scan statistics berdasar pada uji rasio kemungkinan (\log likelihood ratio/LLR). Untuk mendeteksi hotspot maka dibutuhkan data populasi (informasi dari setiap wilayah yang menjadi objek kajian). Prinsip pengujian hipotesis digunakan untuk mendeteksi adanya hotspot.

Dalam melakukan pemindaian statistik terdapat delapan model peluang berbeda yang dapat digunakan oleh peneliti sesuai kebutuhan penelitian yang dilakukan serta sesuai dengan model data yang digunakan. Delapan model peluang tersebut diantaranya yaitu, untuk data cacah dapat menggunakan model Poisson diskrit, model Bernoulli maupun space-time permutation. Model Poisson digunakan ketika data adalah data cacah, sedangkan untuk model Bernoulli jika data memiliki kategori 0 dan 1, serta space-time permutation digunakan ketika yang tersedia hanya data kasus tanpa ada data populasi. Sedangkan model yang lainnya yaitu, model multinomial digunakan untuk data kategori, model ordinal digunakan untuk data kategori yang terurut, model eksponensial untuk data waktu hidup dengan ataupun tanpa sensor, model normal untuk data berkelanjutan lainnya serta model poisson berkelanjutan (Kulldorff, 2018).

2.2 Space-Time Permutational Scan Statistics

Space-Time Permutational Scan Statistics atau biasa disebut sebagai statistik pemindaian dengan permutasi ruang waktu merupakan pengembangan dari spatial scan statistics. Yang membedakan metode ini dengan yang lain yaitu metode ini dapat diaplikasikan pada data yang hanya memiliki data kasus tanpa menggunakan data populasi atau data latar belakang yang menjadi kontrol (Kulldorff, 2005). Pada prinsipnya untuk mendeteksi hotspot pada metode ini sama dengan metode yang digunakan dalam mendeteksi hotspot pada spatial scan statistics. Secara umum, tahapan yang digunakan untuk menentukan most likely cluster sama untuk semua pengujian dalam statistik pemindaian spasial, yaitu:

1. Menentukan daerah yang diteliti.
2. Menentukan nilai temporal yang digunakan
3. Menentukan data spasial yang berupa data kasus untuk setiap lokasi berdasarkan nilai temporal.
4. Membentuk kumpulan jendela pemindaian. Setiap jendela pemindaian berpotensi untuk menjadi most likely cluster.
5. Membentuk hipotesis H0 dan H1 untuk model peluang dari data yang digunakan.
Hipotesisnya yaitu:
H₀: Tidak ada pengelompokan titik kejadian gempa bumi
H₁: Ada pengelompokan titik kejadian gempa bumi
6. Menghitung log likelihood ratio (LLR) berdasarkan H0 dan H1. LLR merupakan rasio dari fungsi kemungkinan yang mendasarkan H1 benar dibandingkan dengan fungsi kemungkinan yang mendasarkan pada H0 benar.
7. Menghitung log likelihood untuk setiap jendela pemindaian.
8. Mencari daerah yang potensial. Daerah potensial merupakan jendela pemindaian dengan log likelihood tertinggi.
9. Melakukan pengujian hipotesis dengan cara menggunakan pengujian hipotesis Monte Carlo. Jika hasil pengujian tidak signifikan maka jendela pemindaian merupakan daerah potensial. Tetapi jika hasilnya signifikan maka jendela pemindaian merupakan most likely cluster (Kulldorf, 1997)

2.3 Model Poisson

Space-time permutation scan statistics yang pada dasarnya merupakan metode yang berdasar pada distribusi Poisson. Fungsi likelihood untuk model Poisson digunakan untuk membandingkan jumlah kasus di dalam dan di luar jendela pemindaian yang digunakan untuk mencari titik hotspot (Kulldorff, 1997). Model peluang untuk distribusi poisson dijelaskan pada persamaan 2.9 di bawah

$$P(X = x | \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} \quad (2.1)$$

Persamaan di atas digunakan untuk menghitung peluang X, dimana rata-rata dan ragam adalah sama. Dimana x adalah jumlah kejadian dari 1, 2, ..., n, sedangkan μ adalah rata-rata jumlah kejadian dalam rentang waktu tertentu. Model peluang untuk space time permutation scan statistics lebih kompleks.

3. Metode Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang telah dilakukan yaitu penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif yang menggunakan data sekunder dari instansi terkait. Pada penelitian ini diketahui daerah dengan Kejadian Luar Biasa kasus gempa bumi terkhusus di Provinsi Sulawesi Tengah.

3.2 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang berupa data jumlah kejadian gempa bumi di setiap Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Tengah pada rentang waktu tahun 2017-2018. Data diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang bisa diunduh pada website BMKG yaitu <http://repogempa.bmkg.go.id> yang memuat data waktu kejadian gempa Bumi meliputi tahun, bulan, tanggal, jam, menit dan detik serta data titik koordinat kejadian gempa, kekuatan dan kedalaman gempa.

3.3 Definisi Operasional Peubah

Berikut definisi dari peubah-peubah yang digunakan yaitu Jumlah kasus dalam penelitian ini adalah jumlah kejadian gempa bumi di Provinsi Sulawesi Tengah sepanjang tahun 2017 sampai tahun 2018. Gempa yang didefinisikan sebagai kasus yaitu semua gempa yang tercatat pada database Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika dari kekuatan 2 Magnitudo sampai 9 Magnitudo. Setiap kasus gempa bumi memuat data waktu kejadian gempa bumi berupa data jam, tanggal, bulan dan tahun. Sedangkan data Koordinat adalah titik koordinat setiap titik kejadian gempa bumi yang digunakan dalam melakukan pemindaian sebagai aspek geografis yang berguna dalam melakukan perhitungan jarak euclidean.

3.4 Langkah Analisis

Prosedur Penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Mengumpulkan rujukan terkait dengan metode Space-Time Permutational Scan Statistics dan Kejadian Gempa bumi di Indonesia terkhusus di Provinsi Sulawesi Tengah.
2. Melakukan pengumpulan data kejadian gempa bumi di Provinsi Sulawesi Tengah.
3. Melakukan pengolahan data dengan software berbasis open source yaitu SaTScan 9.5 yang dapat diunduh pada laman <https://www.satscan.org/>
4. Menginterpretasi output data yang menjadi daerah dengan kejadian luar biasa maupun daerah potensial terjadinya gempa bumi.
5. Membuat kesimpulan.

4. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini dijelaskan beberapa hal untuk menjawab tujuan dalam penelitian yang dilakukan. Hal-hal yang dapat dilakukan diantaranya adalah mendeskripsikan jumlah kejadian gempa bumi di Sulawesi Tengah tahun 2017-2018, menentukan hotspot kejadian gempa bumi di Sulawesi Tengah dan melakukan pemetaan terhadap hasil area hotspot yang terdeteksi.

4.1 Kajian matematis penduga paramater *space-time permutation scan statistic*

Nilai statistik uji diperlukan dalam mendeteksi daerah potensial. Oleh karena itu, ditentukan area yang memaksimumkan fungsi kemungkinan untuk memperoleh nilai statistik uji yang diperoleh dari rasio kemungkinan berdasarkan H_0 dan H_1 benar. Fungsi *log likelihood* untuk model *space time permutation* dari persamaan 2.12 yaitu

$$\ln(L) = \ln \left[\frac{e^{-p\mu_A - q(C - \mu_A)}}{C!} p^{C_A} q^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i) \right] \tag{4.1}$$

$$\ln(L) = \ln \left[e^{-p\mu_A - q(C - \mu_A)} \right] + \ln \left[p^{C_A} \right] + \ln \left[q^{C - C_A} \right] + \ln \left[\prod_{i=1} \mu(x_i) \right] - \ln [C!] \tag{4.2}$$

Fungsi *log likelihood* berdasarkan H_0 (L_0) benar diperoleh apabila $p=q$ yaitu, rata-rata jumlah kejadian gempa bumi dalam jendela pemindaian sama dengan jumlah kejadian gempa bumi di luar jendela pemindaian. Sebelum menentukan nilai statistik uji diperlukan nilai yang memaksimumkan nilai p dan q sehingga persamaan 4.1 menjadi

$$L_0 = \left[\frac{e^{-p\mu_A - p(C - \mu_A)}}{C!} p^{C_A} p^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i) \right] \tag{4.3}$$

$$\ln(L_0) = \ln \left[\frac{e^{-p\mu_A - p(C - \mu_A)}}{C!} p^{C_A} p^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i) \right]$$

$$\ln(L_0) = \ln \left[\frac{e^{-p\mu_A - p(C - \mu_A)}}{C!} p^C \prod_{i=1} \mu(x_i) \right]$$

$$\ln(L_0) = \ln \left[e^{-p\mu_A - p(C - \mu_A)} \right] + \ln [p^C] + \ln \left[\prod_{i=1} \mu(x_i) \right] - \ln [C!]$$

$$\ln(L_0) = [-p\mu_A - p(C - \mu_A)] + C \ln [p] + \ln \left[\prod_{i=1} \mu(x_i) \right] - \ln [C!]$$

$$\ln(L_0) = [-p\mu_A - pC + p\mu_A] + C \ln [p] + \ln \left[\prod_{i=1} \mu(x_i) \right] - \ln [C!]$$

$$\ln(L_0) = -pC + C \ln[p] + \ln \left[\prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] - \ln[C!] \tag{4.4}$$

Dari turunan persamaan 4.4 terhadap p diperoleh nilai maksimum dari p , sehingga persamaan menjadi

$$\ln(L_0) = -pC + C \ln[p] + \ln \left[\prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] - \ln[C!] \tag{4.5}$$

$$\frac{\partial \ln(L_0)}{\partial p} = -C + \frac{C}{p} + 0 - 0 = 0$$

$$\frac{C}{p} = C$$

$$p = \frac{C}{C} = 1 \tag{4.6}$$

Substitusi nilai p dari persamaan 4.6 terhadap persamaan 4.3 sehingga membentuk persamaan di bawah ini

$$L_0 = \frac{e^{-p\mu_A - p(C-\mu_A)}}{C!} p^C \prod_{i=1}^C \mu(x_i) \tag{4.7}$$

$$L_0 = \frac{e^{-\left(\frac{C}{C}\right)C}}{C!} \frac{C^C}{C} \prod_{i=1}^C \mu(x_i)$$

$$L_0 = \frac{e^{-C}}{C!} \frac{C^C}{C} \prod_{i=1}^C \mu(x_i) \tag{4.8}$$

Fungsi *log likelihood* berdasarkan H_1 (L_1) benar $p \neq q$ diperoleh jika rata-rata jumlah kejadian gempa bumi di dalam jendela pemindaian tidak sama dengan jumlah kejadian gempa bumi di luar jendela pemindaian. Persamaan 2.12 menjadi

$$L_1 = \left[\frac{e^{-p\mu_A - q(C-\mu_A)}}{C!} p^{C_A} q^{C-C_A} \prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] \tag{4.9}$$

$$\ln(L_1) = \ln \left[\frac{e^{-p\mu_A - q(C-\mu_A)}}{C!} p^{C_A} q^{C-C_A} \prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right]$$

$$\ln(L_1) = \ln \left[e^{-p\mu_A - q(C-\mu_A)} \right] + \ln \left[p^{C_A} \right] + \ln \left[q^{C-C_A} \right] + \ln \left[\prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] - \ln[C!]$$

$$\ln(L_1) = -p\mu_A - q(C - \mu_A) + C_A \ln[p] + {}^{C-C_A} \ln[q] + \ln \left[\prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] - \ln[C!] \tag{4.10}$$

Dari turunan persamaan 4.10 terhadap p diperoleh nilai maksimum p ketika H_1 benar yaitu

$$\ln(L_1) = -p\mu_A - q(C - \mu_A) + C_A \ln[p] + {}^{C-C_A} \ln[q] + \ln \left[\prod_{i=1}^C \mu(x_i) \right] - \ln[C!] \tag{4.11}$$

$$\frac{\partial \ln(L_1)}{\partial p} = -\mu_A - 0 + 0 + \frac{C_A}{p} - 0 + 0 - 0 = 0$$

$$\mu_A = \frac{C_A}{p}$$

$$p\mu_A = C_A$$

$$p = \frac{C_A}{\mu_A} \tag{4.12}$$

Dari turunan persamaan 4.12 terhadap q diperoleh nilai maksimum q ketika H_1 benar

$$\ln(L_1) = -p\mu_A - q(C - \mu_A) + C \ln[p] + {}^{C-C_A} \ln[q] + \ln \left[\prod_{i=1} \mu(x_i) \right] - \ln[C!]$$

$$\frac{\partial \ln(L_1)}{\partial q} = 0 - (C - \mu_A) + 0 + \frac{C}{q} - \frac{C_A}{q} + 0 - 0 = 0 \tag{4.13}$$

$$= -(C - \mu_A) + 0 + \frac{C}{q} - \frac{C_A}{q} + 0 - 0 = 0$$

$$= -(C - \mu_A) + \frac{C - C_A}{q} = 0$$

$$\frac{C - \mu_A}{q} = C - C_A$$

$$q(C - C_A) = C - \mu_A$$

$$q = \frac{C - C_A}{C - \mu_A} \tag{4.14}$$

Substitusi nilai $p = \frac{C_A}{\mu_A}$ dan $q = \frac{C - C_A}{C - \mu_A}$ terhadap persamaan

$$4.9 L_1 = \frac{e^{-\left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)\mu_A - \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)(C - \mu_A)}}{C!} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i) \tag{4.15}$$

$$L_1 = \frac{e^{-C_A - (C - C_A)}}{C!} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i)$$

$$L_1 = \frac{e^{-C_A - C + C_A}}{C!} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i)$$

$$L_1 = \frac{e^{-C}}{C!} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i) \tag{4.16}$$

Untuk mendeteksi daerah potensial yaitu daerah yang memiliki peluang lebih tinggi dibandingkan dengan peluang di luar kelompok menggunakan statistik uji λ dari uji fungsi *likelihood* yang ditulis seperti pada persamaan 4.17

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0}$$

$$\lambda = \frac{\frac{e^{-C}}{C!} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} \mu(x_i)}{\frac{e^{-C}}{C!} \frac{C^C}{C} \prod_{i=1} \mu(x_i)}$$

$$\lambda = \frac{\left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A}}{\frac{C^C}{C}}$$

$$\lambda = \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \quad \text{jika } C_A > \mu_A \tag{4.17}$$

4.2 Hotspot terdeteksi

Jumlah hotspot yang terdeteksi berdasarkan analisis data kejadian gempa bumi di Sulawesi Tengah tahun 2017-2018 dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hotspot terdeteksi

<i>Hotspot</i>	<i>Koordinat</i>	<i>Radius</i>	<i>C</i>	μ_A	<i>RR</i>	<i>Test stat</i>	<i>p-value</i>
Utama	-0.49, 118.88	141.13	346	136.47	2.54	122.38	<0.0001
Sekunder 1	-1.66, 120.07	44.95	227	81.31	2.79	92.04	<0.0001
Sekunder 2	-1.14, 122.58	101.21	114	79.63	1.43	6.78	0.92

Tabel 4.2 memuat data berupa jenis hotspot berdasarkan kriteria penerimaan hotspot. Titik koordinat yang memuat koordinat lintang dan bujur dari pusat hotspot gempa bumi terdeteksi. Radius atau jarak titik pusat hotspot gempa bumi terhadap area yang termasuk dalam hotspot tersebut. Jumlah kasus dalam setiap area hotspot yang terdeteksi. Serta nilai harapan kasus masing-masing hotspot, nilai risiko relatif, nilai statistik uji, dan p-value.

Uraian hasil penelitian pada tabel 3.2 yaitu, hotspot 1 terletak pada titik -0.49 dan 118.88 yang merupakan zona Selat Makassar. Besaran hotspot memiliki radius 141.13 km dari pusat titik hotspot. Artinya, 141.13 km dari titik tersebut termasuk ke dalam area hotspot 1. Hotspot tersebut mencakup Kabupaten Donggala, Kota Palu, dan Kabupaten Parigi Moutang yang terdeteksi dengan nilai RR sebesar 2.54 dengan total kasus sebanyak 346 kasus dibandingkan dengan nilai harapan kasus sebesar 136.47 kasus. Nilai statistik uji yang diperoleh adalah 122.38 serta nilai p-value lebih kecil dari 0.0001. Hotspot 2 terletak pada titik -1.66 dan 120.07 serta besaran hotspot memiliki radius 44.95 km dari pusat titik hotspot. Hotspot tersebut mencakup Kabupaten Sigi dan Kabupaten Poso yang terdeteksi dengan nilai RR sebesar 2.79 dengan total kasus sebanyak 227 kasus dibandingkan dengan nilai harapan kasus sebesar 81.31. Nilai statistik uji yang diperoleh adalah 92.04 dengan nilai p-value lebih kecil dari 0.0001. Hotspot 3 yang terdeteksi terletak pada titik -1.14 dan 122.58 serta besaran hotspot memiliki radius 101.21 km dari pusat titik hotspot. Hotspot tersebut mencakup Kabupaten Banggai, Kabupaten Banggai Laut, Kabupaten Tojo Una-Una dan Kabupaten Morowali Utara yang terdeteksi dengan nilai RR sebesar 1.43 dengan total kasus sebanyak 114 kasus dibandingkan dengan nilai harapan kasus sebesar 79.63. Nilai statistik uji yang diperoleh adalah 6.78 dengan nilai p-value 0.92.

Berdasarkan uraian tersebut maka yang menjadi hotspot utama adalah hotspot 1 karena memiliki nilai statistik uji yang paling besar dan memenuhi nilai RR lebih besar dari 1. Sedangkan hotspot 2 dan hotspot 3 menjadi hotspot sekunder karena memiliki nilai RR lebih dari 1 tetapi memiliki nilai statistik uji yang lebih kecil dibandingkan dengan hotspot 1. Selanjutnya, untuk mengetahui hotspot yang signifikan secara statistik, dilihat dari nilai p-value yang menggunakan taraf nyata 5%. Hotspot utama dan hotspot sekunder 1 memiliki nilai p-value <0.0001 yang berarti bahwa hotspot tersebut signifikan secara statistik sedangkan hotspot sekunder 2 memiliki nilai p-value 0.92 yang berarti bahwa hotspot tersebut tidak signifikan secara statistik. Sehingga yang menjadi

hotspot yang signifikan pada penelitian ini adalah hotspot 1 yang mencakup Kabupaten Donggala, Kota Palu dan Kabupaten Parigi Moutang serta hotspot 2 yang meliputi area Kabupaten Sigi dan Kabupaten Poso.

Penelitian dengan space-time permutational scan statistic ini menggunakan data kejadian gempa bumi di Sulawesi Tengah tahun 2017-2018 sebanyak 2396 titik. Kejadian gempa bumi terbanyak yang terjadi sepanjang tahun 2017 yaitu terjadi di Kabupaten Poso sebanyak 304 kejadian. Sedangkan, pada tahun 2018 Kabupaten Donggala menjadi daerah dengan jumlah kejadian gempa bumi terbesar yaitu sebanyak 325 titik kejadian. Sedangkan untuk daerah dengan titik gempa terbanyak dalam 2 tahun terakhir adalah Kabupaten Poso dengan 518 kejadian. Titik gempa di Sulawesi Tengah yang dianalisis menggunakan metode space-time permutation scan statistic membentuk cluster yang memperoleh 2 hotspot yang signifikan secara statistik.

Dari penelitian ini diperoleh, 1 hotspot utama dan 1 hotspot sekunder yang memiliki nilai p-value <0.0001 yang berarti bahwa hotspot tersebut signifikan secara statistik. Yaitu hotspot utama yang mencakup sebagian area Kabupaten Donggala, keseluruhan area Kota Palu dan sebagian Parigi Moutang, serta hotspot sekunder yang mencakup kabupaten Sigi dan Kabupaten Poso. Berdasarkan data kejadian yang ada, Kabupaten Poso menjadi daerah dengan jumlah kejadian gempa terbesar yaitu sebanyak 518 kejadian selama dua tahun.

Tetapi, hasil analisis yang diperoleh pada penelitian ini tidak menjadikan Kabupaten Poso sebagai daerah dengan hotspot utama. Tetapi, yang menjadi hotspot utama dan memiliki radius terdekat dengan titik pusat hotspot utama adalah Kabupaten Donggala yang disusul oleh Kota Palu kemudian Kabupaten Parigi Moutang. Demikian pula pada hotspot sekunder yang menjadikan Kabupaten Sigi sebagai area utama hotspot.

Hal tersebut terjadi karena, pada penelitian ini mengidentifikasi daerah dengan kejadian luar biasa dengan mempertimbangkan area dan waktu kejadian gempa bumi. Selain itu, juga mempertimbangkan intensitas kejadian gempa yang terjadi di suatu area pada hari tertentu. Artinya, yang menjadi daerah dengan kejadian tidak biasa adalah daerah yang memiliki kejadian yang tidak merata baik berdasarkan area maupun waktu kejadian sepanjang tahun 2017-2018.

Kabupaten Poso yang memiliki 518 titik kejadian gempa bumi cenderung tersebar di setiap area Kabupaten Poso dan memiliki pola kejadian yang hampir merata di setiap hari sepanjang 2 tahun data penelitian. Berbeda dengan Kabupaten Donggala yang hanya memiliki jumlah kejadian 370 titik gempa bumi tetapi memiliki intensitas kejadian yang cenderung memusat di satu area dan waktu. Sehingga menjadikan Kabupaten Donggala dan Kota Palu sebagai hotspot utama. Selain itu, daerah seperti Kabupaten Banggai dan Kabupaten Tojo Una-Una yang memiliki jumlah kejadian yang cukup besar juga tidak menjadikannya daerah dengan hotspot yang signifikan disebabkan jumlah kejadian yang merata di setiap area dan selama selang waktu 2 tahun.

Hotspot yang terdeteksi sejalan dengan letak patahan yang berada di Pulau Sulawesi. Bentuk geologi yang menyebabkan aktifitas kegempaan di Sulawesi Tengah yaitu adanya spreading center (lempeng yang saling menjauhi) di Selat Makassar dan Teluk Bone, adanya patahan yaitu Palu-Koro, Walanae, Matano, Hamilton, Sorong, Sula-Sorong. Selain itu, juga terdapat 3 palung yaitu palung Sulawesi Utara, Sangihe dan Tolo. Berdasarkan bentuk geologi tersebut sesar Palu-Koro merupakan sumber gempa teraktif (Baeda, 2012).

Donggala dapat dikatakan sebagai daerah dengan kejadian tidak biasa gempa bumi dikarenakan tingginya intensitas kejadian gempa bumi dalam satu waktu. Selain itu, gempa bumi Palu-Donggala yang berkekuatan 7.5 M pada tanggal 28 September 2018 disebabkan oleh supershear atau fenomena langka pergeseran lempeng secara cepat yang mengakibatkan gempa besar yang kemudian disusul dengan terjadinya Tsunami dengan ketinggian hingga 7 meter (Socquet dkk, 2018). Tsunami terjadi jika lempeng tektonik yang mengalami benturan merupakan lempeng benua dengan lempeng samudera (Sumarjo, 2012). Bentuk geologi tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang menggunakan data kejadian gempa tahun 2017-2018 yang menjadikan daerah Palu Donggala sebagai hotspot utama.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai metode space-time permutation scan statistics pada kejadian gempa bumi, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Analisis hotspot data kejadian gempa bumi di Provinsi Sulawesi Tengah untuk data kejadian tahun 2017-2018 mengidentifikasi 3 hotspot. Ketiga hotspot tersebut secara berurutan yaitu, hotspot utama Kabupaten Donggala dan Kota Palu, hotspot sekunder 1 yaitu Kabupaten Sigi dan Palu, hotspot sekunder 2 yaitu Kabupaten Banggai, Kabupaten Banggai Laut, Kabupaten Tojo Una-Una, serta Kabupaten Morowali Utara.

- Hotspot kejadian gempa bumi yang signifikan secara statistik pada taraf nyata 5% yang dibangun dengan model peluang Poisson yaitu, hotspot utama dan hotspot sekunder 1.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pemerintah daerah dan masyarakat setempat di daerah yang menjadi hotspot utama yaitu Kabupaten Donggala, Kota Palu dan Parigi Moutang untuk selalu meningkatkan kewaspadaan jika di kemudian hari terjadi gempa bumi dengan intensitas yang tinggi dalam waktu yang cukup singkat. Selain itu, daerah tersebut merupakan jalur cincin api ter-aktif di Sulawesi Tengah.

References

- Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika. (2018). <http://repogempa.bmkg.go.id>. Diakses pada tanggal 19 Desember 2018.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2018). Info Bencana Edisi September. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. (2018). Provinsi Sulawesi Tengah dalam Angka 2018. BPS. Sulawesi Tengah.
- Baeda. (2012). Kajian Potensi Tsunami Akibat Gempa Bumi Bawah Laut di Peraian Pulau Sulawesi. *Junal Teknik Sipil*. Universitas Hasanuddin.
- Bock, Y. *et al.* (2003). Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. *Journal of Geophysical Research*.
- Fidia, R., Pujiastuti, D., & Sabarani, A. (2018). Korelasi Tingkat Seismitas dan Periode Ulang Gempa bumi di Kepulauan Mentawai dengan Menggunakan Merode *Guttenburg-Richter*. *Jurnal Fisika UNAND*.
- Jung, I., Kulldorff, M., & Klassen. A. (2005). *A Spatial scan statistics for Ordinal Data*. Harvard Medical School and Harvard Pilgrim Health Care.
- Kulldorff, M. (2018). *SaTScan User Guide*.
- Kulldorff, M. (1997). *A Spatial scan statistics*. *Communication in Statistics: Theory and Methods*, 26(6), 1481-1496.
- Kulldorff, M., dkk (2005). *A Space-Time Permutation Scan Statistic for Disease Outbreak Detection*.
- Patil & Taillie. (2004). Upper Level Set Scan Statistic for Detecting Arbitrarily Shaped Hotspots. *Enviromental and Ecological Statistics 11*.
- Pebrian. (2015). *Pendeteksian Hotspot Kasus Pernikahan Dini Wanita di Jawa Barat menggunakan Statistik Pemindaian Spasial (Spatial Scan Statistic [skripsi]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Siswanting, T. (2013). *Geoinformatika pada Kasus Area Kecil dan Penerapannya untuk Mendeteksi Kantong-Kantong Kemiskinan di Jember [Disertasi]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sunarjo., Gunawan, MT., Pribadi, S (2012). *Gempa Bumi Indonesia Edisi Populer*. Jakarta: Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika.
- Socquet, A., dkk (2018). Evidence of Supershear During the 2018 Magnitude 7.5 Palu earthquake from space geodesy. *Nature Geoscience*.
- Tango & Takahashi, K. (2005). *A Flexibly Shaped Spatial scan statistics For Detecting Clusters*. *International Journal of Health Geographics*