



Analisis Spasial Persebaran Dan Pemetaan Kerawanan Daerah Titik Panas Di Kalimantan Timur Menggunakan *Spatial Pattern Analysis Dan Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic*

Tiara Nur Hikmaulida^{1*)}, Memi Nor Hayati², Sri Wahyuningsih²

¹Lab Statistika Terapan, Prodi Statistika, Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman

² Program Studi Statistika, Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman

*E-mail korespondensi: ititiara@gmail.com

Abstract

The statistical method used to analyze spatial data and spatial statistics. The case study in this study is the average number of hotspots in East Kalimantan by Regency / City in 2016-2018. This study aims to analyze the presence or absence of spatial autocorrelation in the data on the number of hotspots, determine the distribution pattern of hotspots, as well as determine the level of vulnerability of potential areas for forest and land fires in East Kalimantan by Regency / City in 2016-2018. The method used to analyze spatial autocorrelation globally and determine the distribution patterns is the Moran Index. Local Indicator of Spatial Autocorrelation (LISA) to analyze spatial autocorrelation locally. Spatial autocorrelation analysis results globally using the Moran Index with $\alpha = 25\%$ shows that there is a spatial autocorrelation in the average number of hotspots in East Kalimantan in 2016-2018. The distribution pattern of hotspots in East Kalimantan is the pattern of spread which shows that in 2016-2018 the hotspots spread in each district / city of East Kalimantan. Meanwhile, the results of the local analysis using LISA showed that there were spatial autocorrelations in several districts / cities in East Kalimantan. The method used to determine the level of vulnerability of potential forest and land fires is Flexibly Shaped Spatial Scan Statistics and LISA. The results showed that the regencies / cities included in the category of forest and land fire hazard were Samarinda City, Bontang City, Kutai Kartanegara District and East Kutai.

Key Words: Spatial Autocorrelation, Flexibly Shaped Spatial Scan Statistics, Moran Index, Forest and Land Fires, LISA, Spatial Patterns, Hotspots

PENDAHULUAN

Statistika spasial merupakan suatu teknik statistika yang digunakan untuk menganalisis data spasial^[1]. Autokorelasi spasial sangat penting untuk mendapatkan informasi mengenai pola penyebaran karakteristik suatu wilayah dan keterkaitan antar lokasi didalamnya. Beberapa metode untuk mengidentifikasi autokorelasi spasial yaitu Indeks Moran dan Local Indicator of Spatial Autocorrelation (LISA)^[2]. Metode *Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic* digunakan untuk mendeteksi cluster dalam suatu wilayah yang signifikan secara statistik terhadap resiko kasus

tertentu. Cluster tersebut adalah wilayah-wilayah dalam cluster yang memiliki resiko relatif lebih tinggi dibanding yang lainnya [3]. Luas hutan di Indonesia terus berkurang. Data kehilangan tutupan pohon di Indonesia tetap tinggi antara tahun 2001 dan 2015 [4]. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah banyak kejadian kebakaran hutan yang terjadi setiap tahunnya. Provinsi Kalimantan Timur adalah salah satu provinsi rawan kejadian kebakaran hutan dan lahan. Salah satu upaya mengurangi kemungkinan kejadian kebakaran hutan dan lahan dapat dilakukan dengan menganalisa faktor pendukung kejadian kebakaran hutan dan lahan seperti titik panas [5]. Oleh karena itu diperlukan penelitian terhadap wilayah-wilayah yang memiliki titik panas, artinya dengan mengetahui tingkat potensi kerawanan daerah terhadap kebakaran hutan dan lahan yang dapat menggunakan *spatial pattern analysis* dan *Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic*.

TINJAUAN PUSTAKA

Data Spasial

Data spasial merupakan data yang memuat posisi atau wilayah dari suatu obyek di permukaan bumi [6]. *Spatial pattern* atau pola spasial adalah sesuatu yang berhubungan dengan penempatan objek atau susunan benda di permukaan bumi. Setiap perubahan *spatial pattern* akan mengilustrasikan proses spasial yang ditunjukkan oleh faktor lingkungan atau budaya, tiga pola dasar spasial yaitu acak (*random*), mengelompok (*clustered*), dan seragam (*uniform*) [7].

Indeks Moran

Autokorelasi spasial secara global dapat menggunakan Indeks Moran, hal ini dapat diterapkan untuk mendeteksi penyimpangan dari keacakan spasial. Penyimpangan dari keacakan menunjukkan pola spasial seperti *cluster/trend*. Untuk menghitung nilai Indeks Moran dapat dilihat pada persamaan (1) [2].

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Dengan \bar{x} merupakan rata-rata dari variabel x , dan w_{ij} merupakan elemen dari matrik pembobot. Nilai dari indeks ini berkisar antara -1 sampai 1. Nilai $-1 \leq I < 0$ menunjukkan adanya autokorelasi spasial negatif, sedangkan nilai $0 < I \leq 1$ menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif. Pengujian hipotesis terhadap parameter I dapat dilakukan sebagai berikut:

$H_0: I = 0$ (tidak ada autokorelasi spasial)

$H_1: I \neq 0$ (terdapat autokorelasi spasial)

$$Z_{hitung} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}} \quad (2)$$

$$\text{dengan } E(I) = I_0 = -\frac{1}{(n-1)} \quad (3)$$

$$\text{var}(I) = \frac{n^2 S_1 - n S_2 + 3 S_0^2}{(n^2 - 1) S_0^2} - [E(I)]^2 \quad (4)$$

$$\text{dimana } S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}, S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} + w_{ji})^2$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n (w_{i.} + w_{.i})^2, w_{i.} = \sum_{j=1}^n w_{ij} \text{ dan } w_{.j} = \sum_{i=1}^n w_{ij}$$

Pengujian akan menolak H_0 jika nilai $|Z_{hitung}| > Z_{\alpha/2}$

Moran's scatterplot

Moran's *scatterplot* merupakan alat untuk menginterpretasikan dari Indeks Moran. Moran's *scatterplot* digunakan untuk melihat hubungan antara nilai yang diamati dengan nilai rata-rata wilayah tetangga^[2].

LISA

LISA digunakan untuk mengidentifikasi bagaimana hubungan antara suatu wilayah pengamatan terhadap wilayah pengamatan yang lainnya^[2]. Untuk menghitung nilai indeks LISA dapat dilihat pada persamaan (2)^[2].

$$I_i = \frac{z_i}{m_2} \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j$$

$$\text{dengan } \bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, z_i = (x_i - \bar{x}), z_j = (x_j - \bar{x}), m_2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Pengujian terhadap parameter I_i dapat dilakukan sebagai berikut.

$H_0 : I_i = 0$ (tidak terdapat autokorelasi spasial pada wilayah i)

$H_1 : I_i \neq 0$ (terdapat autokorelasi spasial pada wilayah i)

$$\text{Statistik uji : } Z_{(i)hitung} = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{\text{var}(I_i)}} \quad (6)$$

$$E(I_i) = \frac{-w_i}{(n-1)} \quad (7)$$

$$\text{var}(I_i) = w_i^{(2)} \frac{\left(\frac{n - m_4}{m_2^2} \right)}{(n-1)} + 2w_{i(kh)} \frac{(2m_4 / m_2^2 - n)}{(n-1)(n-2)} - \frac{w_i^2}{(n-1)^2}$$

$$\text{dengan: } w_i^{(2)} = \sum_{j \neq i} w_{ij}^2, i \neq j \quad 2w_i = \sum_{k \neq i} \sum_{h \neq i} w_{ik} w_{ih}, w_i = \sum_{j \neq i} w_{ij}, i \neq j$$

$$m_4 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^4}{n-1}$$

Pengujian ini akan menolak hipotesis awal jika nilai $|Z_{(i)hitung}| > Z_{(\alpha/2)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$.

Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic

Metode *Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic* mempunyai kekuatan lebih tinggi daripada *Circular Spatial Scan Statistic* oleh Martin Kulldorff saat *cluster* yang dideteksi adalah *non-circular* dan fleksibel terhadap bentuk *cluster* yang dihasilkan sehingga tidak terbatas pada bentuk lingkaran saja. Uji statistik yang dilakukan menggunakan pengujian hipotesis pendekatan Monte Carlo. Hipotesis yang digunakan

$H_0: E(X(z)) = \mu(z)$, untuk semua Z (wilayah dalam Z bukan merupakan wilayah rawan berpotensi terjadi kebakaran hutan dan lahan)

$H_1: E(X(z)) > \mu(z)$, untuk beberapa Z (wilayah dalam Z merupakan wilayah rawan berpotensi terjadi kebakaran hutan dan lahan).

Pada setiap Z , kita dapat menghitung *likelihood* untuk mengamati jumlah titik panas di dalam dan di luar Z . Dengan asumsi Poisson, uji statistik yang disusun dengan uji rasio *likelihood*:

$$\lambda = \sup_{z \in Z} \left[\frac{x(z)}{\mu(z)} \right]^{x(z)} \left[\frac{x(z^c)}{\mu(z^c)} \right]^{x(z^c)} I \left[\frac{x(z)}{\mu(z)} > \frac{x(z^c)}{\mu(z^c)} \right] \quad (8)$$

z^c melambangkan semua wilayah di luar Z , dan $x(\cdot)$ melambangkan total rata-rata jumlah titik panas dalam Z yang ditentukan dan $I(\cdot)$ merupakan fungsi indikator. Ketika memeriksa kantong dengan *high rates* maka $I(\cdot)$ memiliki nilai 1 jika Z memiliki peluang lebih besar dan 0 jika lainnya^[3].

Titik Panas

Titik panas adalah daerah yang memiliki suhu permukaan relatif lebih tinggi dibandingkan daerah di sekitarnya berdasarkan ambang batas suhu tertentu yang terpantau oleh satelit penginderaan jauh^[8].

METODE PENELITIAN

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah rata-rata jumlah titik panas dan luas wilayah provinsi Kalimantan Timur tahun 2016-2018 berdasarkan kabupaten/kota. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan mengambil data sekunder. Data titik panas di Kalimantan Timur berdasarkan kabupaten/kota dengan tingkat kepercayaan >80% tahun 2016-2018 diambil dari website laman yaitu www.modis-catalog.lapan.go.id. Data luas wilayah diambil dari BPS Kalimantan Timur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif dari data jumlah titik panas berdasarkan Kabupaten/Kota di Kalimantan Timur pada Tahun 2016-2018.

Tabel 1. Statistika Deskriptif

Minimum	0
Maksimum	582

Dari Tabel 1 dapat diketahui nilai terendah data rata-rata jumlah titik panas sebanyak 0 titik berada di Kota Balikpapan. Nilai tertinggi data rata-rata jumlah titik panas sebanyak 582 titik berada di Kabupaten Kutai Kartanegara.

Indeks Moran

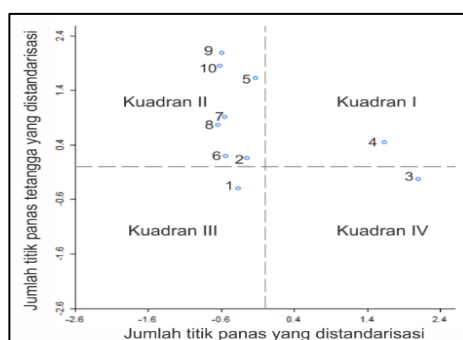
Hasil dari Indeks Moran data rata-rata jumlah titik panas di Kalimantan Timur tahun 2016-2018 menggunakan *software R Studio*. Pengujian hipotesis pada Indeks Moran dengan taraf signifikansi yang digunakan sebesar $\alpha = 25\%$. Pengujian akan menolak H_0 jika nilai $|Z_{hitung}| > Z_{0,125} = 1,15$.

Tabel 2. Indeks Moran Data Rata-rata Titik Panas Tahun 2016-2018

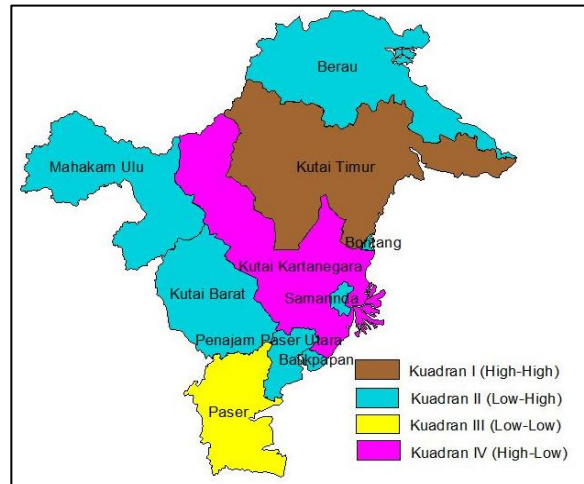
I	I_0	Z_{hitung}	Keputusan
-0,3744	-0,1111	-1,1751	Tolak H_0

Tabel 2 menunjukkan $I < I_0$ menunjukkan bahwa pola persebaran rata-rata jumlah titik panas di Kalimantan Timur pada Tahun 2016-2018 adalah pola menyebar. Hasil pengujian hipotesis Indeks Moran dari data rata-rata jumlah titik panas di Kalimantan Timur Tahun 2016-2018 dengan taraf signifikansi 25% bahwa terdapat autokorelasi spasial secara global atau ada hubungan pada data rata-rata jumlah titik panas antar Kabupaten/Kota di Provinsi Kalimantan Timur yang letaknya berdekatan.

Moran's Scatterplot



Gambar 1: Moran's Scatterplot



Gambar 2: Peta Wilayah Moran's scatterplot

Gambar 1 menunjukkan kuadran I terdiri dari 1 wilayah, kuadran II terdiri dari 7 wilayah, kuadran III terdiri 1 wilayah dan kuadran IV terdiri 1 wilayah. Gambar 2 menunjukkan wilayah yang diberi warna coklat adalah wilayah yang termasuk dalam Kuadran I (High-High). Wilayah Kuadran I yaitu Kabupaten Kutai Timur yang berarti Kabupaten Kutai Timur memiliki jumlah titik panas diatas rata-rata yang yang dikelilingi oleh Kabupaten/Kota dengan jumlah titik panas diatas rata-rata juga. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kabupaten Kutai Timur adalah Kabupaten Kutai Kartanegara, Kabupaten Berau, dan Kota Bontang.

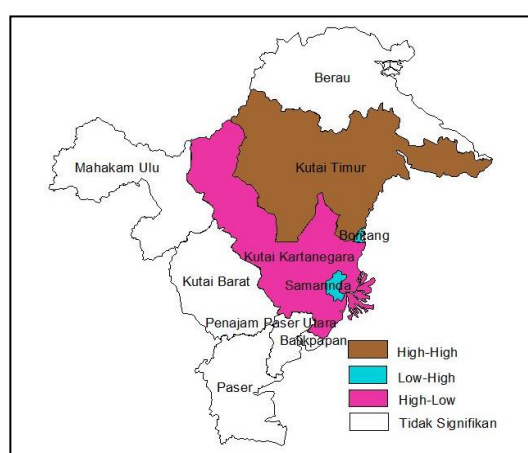
Wilayah yang diberi warna biru adalah wilayah yang termasuk dalam Kuadran II (Low-High). Wilayah Kuadran II yaitu Kota Samarinda, Kota Bontang, Kabupaten Berau, Kabupaten Mahakam Ulu, Kota Balikpapan, Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Barat yang berarti kabupaten/kota tersebut memiliki jumlah titik panas dibawah rata-rata yang dikelilingi oleh kabupaten/kota dengan jumlah titik panas diatas rata-rata. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kota Samarinda yang memiliki jumlah titik panas tinggi adalah Kabupaten Kutai Kartanegara. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kota Bontang yang memiliki jumlah titik panas diatas rata-rata adalah Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Kutai Timur. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kabupaten Berau yang memiliki jumlah titik panas diatas rata-rata adalah Kabupaten Kutai Timur. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kabupaten Mahakam Ulu adalah Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Kutai Barat. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kota Balikpapan adalah Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Penajam Paser Utara. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kabupaten Penajam Paser Utara adalah Kabupaten Paser, Kota Balikpapan dan Kabupaten Kutai Kartanegara. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kabupaten Kutai Barat adalah Kabupaten Kutai Kartanegara, Kabupaten Paser, Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Mahakam Ulu.

Wilayah yang diberi warna kuning adalah wilayah yang termasuk Kuadran III (Low-Low). Wilayah Kuadran III yaitu Kabupaten Paser yang berarti Kabupaten Paser memiliki jumlah titik panas dibawah rata-rata yang dikelilingi oleh Kabupaten/Kota dengan jumlah titik panas dibawah rata-rata. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kabupaten Paser yang memiliki jumlah titik panas dibawah rata-rata adalah Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Barat.

Wilayah yang diberi warna merah muda adalah wilayah yang termasuk Kuadran IV (High-Low). Wilayah kuadran IV yaitu Kabupaten Kutai Kartanegara yang berarti Kabupaten Kutai Kartanegara memiliki jumlah titik panas diatas rata-rata yang dikelilingi oleh Kabupaten/Kota dengan jumlah titik panas dibawah rata-rata. Kabupaten/Kota yang bertetangga dengan Kabupaten Kutai Kartanegara adalah Kota Samarinda, Kota Bontang, Kabupaten Kutai Timur, Kabupaten Mahakam Ulu, Kabupaten Kutai Barat, Kabupaten Penajam Paser utara dan Kota Balikpapan

Indeks LISA

Pengujian LISA dapat menunjukkan signifikansi hubungan secara lokal pada masing-masing Kabupaten/Kota di Kalimantan Timur.



Gambar 3: Peta Hasil Analisis LISA

Dapat dilihat wilayah yang signifikan dari hasil analisis LISA data rata-rata jumlah titik panas di Kalimantan Timur Tahun 2016-2018 disajikan pada Gambar 3 adalah Kota Samarinda, Kota Bontang, Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Kutai Timur.

Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic

Metode *Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic* digunakan untuk menyusun peta kerawanan daerah yang berpotensi terjadi kebakaran hutan dan lahan dengan memperhatikan jumlah titik panas dan luas wilayah di setiap kabupaten/kota di Kalimantan Timur. Pengujian *cluster* yang signifikan menggunakan Monte Carlo dengan $m=999$.

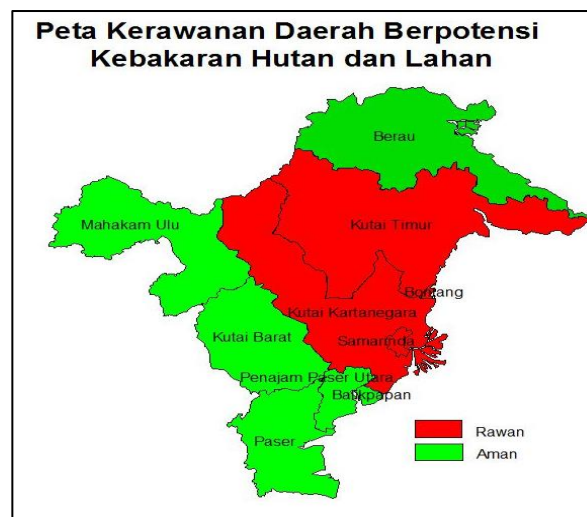
Tabel 3. Hasil Analisis *Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic*

Jumlah wilayah	Jumlah titik panas	Resiko Relatif	<i>p-value</i>
4	1.084	1,68	0,001

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil *Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic* calon *cluster* rawan yang diperoleh hanya ada satu *cluster* yang terdiri dari 4 wilayah yaitu Kabupaten Kutai Kartanegara, Kabupaten Kutai Timur, Kota Samarinda dan Kota Bontang. Jumlah titik panas pada *cluster* sebanyak 1.084 titik. Nilai Resiko relatif sebesar 1,68 artinya wilayah-wilayah dalam *cluster* memiliki resiko adanya titik panas yang berpotensi terjadi kebakaran hutan dan lahan sebesar 1,68 kali dibandingkan dengan wilayah di luar *cluster*. Kemudian pengujian hipotesis *Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic* menunjukkan bahwa memiliki nilai $p\text{-value} = 0,001 < \alpha = 25\%$ sehingga dapat disimpulkan wilayah dalam *cluster* merupakan wilayah rawan berpotensi terjadi kebakaran hutan dan lahan.

Peta Kerawanan Daerah yang Berpotensi Terjadi Kebakaran Hutan dan Lahan

Peta kerawanan daerah yang berpotensi terjadi kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Timur tersusun dari hasil metode *Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic* dan LISA yang disajikan sebagai berikut:



Gambar 5. Peta kerawanan daerah yang berpotensi terjadi kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Timur

Gambar 5 menginformasikan bahwa kabupaten/kota yang termasuk kategori rawan adalah Kota Samarinda, Kota Bontang, Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Kutai Timur karena berdasarkan hasil *flexibly shaped spatial scan statistic* menjadi *cluster* yang signifikan dan memiliki resiko relatif tertinggi, kemudian berdasarkan hasil LISA terdapat autokorelasi spasial secara lokal sehingga Kota Bontang, Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Kutai Timur menjadi daerah prioritas yang perlu diperhatikan untuk meminimalisasi terjadinya kebakaran hutan dan lahan. Kabupaten/kota yang termasuk kategori aman yaitu Kabupaten Berau, Kabupaten Mahakam Ulu, Kabupaten Kutai Barat, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kota Samarinda, Kabupaten Paser dan Kota Balikpapan karena berdasarkan hasil *flexibly shaped spatial scan statistic* tidak menjadi daerah yang signifikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pola persebaran rata-rata titik panas di Kalimantan Timur pada tahun 2016-2018 adalah pola menyebar di setiap kabupaten/kota. Hasil

analisis Indeks Moran bahwa terjadi autokorelasi spasial atau ada hubungan pada data rata-rata jumlah titik panas antar kabupaten/kota di provinsi Kalimantan Timur yang letaknya berdekatan. Kota Samarinda, Kota Bontang, Kabupaten Kutai Timur dan Kutai Kartanegara merupakan daerah rawan terjadi kebakaran hutan dan lahan yang teridentifikasi berdasarkan hasil analisis *flexibly shaped spatial scan statistic* dan LISA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Statistika Terapan, Jurusan Matematika FMIPA Universitas Mulawarman sebagai tempat kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Banerjee, S., Carlin, B.P, and Gelfand, A.E. (2004). *Hierarchical Modeling and Analysis for Spatial Data*. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC.
- [2] Lee, J., dan Wong, D.W.S. (2001). *Statistical Analysis with ArcviewGIS*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Tango, T. dan Takahashi, K. (2005). A Flexibly Shaped Spatial Scan Statistic for Detecting Clusters. *International Journal Health Geographics*. vol. 4, no.11, 2005.
- [4] Arifin, N. (2018). Hutan Indonesia Sebagai Paru-Paru Dunia di Masa Depan. <https://www.goodnewsfromindonesia.id/2018/01/12/bagaimana-hutan-indonesia-sebagai-paru-paru-dunia-di-masa-depan>. Diakses pada 22 Januari 2019.
- [5] Akbar, A. (2008). Pengendalian kebakaran hutan berbasis masyarakat sebagai suatu upaya mengatasi risiko dalam REDD. *Jurnal Tekno Hutan Tanaman Vol 1(1);11-22*. Kalimantan Selatan: Balai Penelitian Kehutanan Banjarbaru.
- [6] Ekadinata, A. Dewi, S. Hadi, D.P. Nugroho, D.K. Johana, F. (2011). *Sistem Informasi Geografi*. Malang: PT Bumi Pertiwi
- [7] Ludwig, J.A, dan J.F. Reynolds. (1988). *Statistical Ecology*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- [8] Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). (2016). *Informasi Titik Panas (Hotspot) Kebakaran Hutan dan Lahan*. ISBN 978-602-96352-2-5.