

**PENDETEKSIAN DAERAH RAWAN SAMBARAN PETIR  
*CLOUD TO GROUND (CG)* MENGGUNAKAN METODE  
*SPACE-TIME PERMUTATION SCAN STATISTIC*  
DI KOTA PASURUAN**

**SKRIPSI**

**OLEH  
ROHMATUL HAMIDAH  
NIM. 18610037**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

**PENDETEKSIAN DAERAH RAWAN SAMBARAN PETIR  
*CLOUD TO GROUND (CG) MENGGUNAKAN METODE  
SPACE-TIME PERMUTATION SCAN STATISTIC  
DI KOTA PASURUAN***

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang  
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh  
Rohmatul Hamidah  
NIM. 18610037**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

**PENDETEKSIAN DAERAH RAWAN SAMBARAN PETIR  
CLOUD TO GROUND (CG) MENGGUNAKAN METODE  
SPACE-TIME PERMUTATION SCAN STATISTIC  
DI KOTA PASURUAN**

**SKRIPSI**

**Oleh  
Rohmatul Hamidah  
NIM. 18610037**

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Malang, 2 Agustus 2022

Dosen Pembimbing I



Angga Dwi Mulyanto, M.Si  
NIP. 19890813 201903 1 012

Dosen Pembimbing II



Fachrur Rozi, M.Si  
NIP. 19800527 200801 1 012

Mengetahui,  
Ketua Prodi Matematika



Dr. Elly Susanti, M.Sc  
NIP. 19741129 200012 2 005

**PENDETEKSIAN DAERAH RAWAN SAMBARAN PETIR  
CLOUD TO GROUND (CG) MENGGUNAKAN METODE  
SPACE-TIME PERMUTATION SCAN STATISTIC  
DI KOTA PASURUAN**

**SKRIPSI**

**Oleh  
Rohmatul Hamidah  
NIM. 18610037**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)  
Tanggal 19 Agustus 2022

Ketua Penguji : Dr. Sri Harini, M.Si

Anggota Penguji 1 : Ria Dhea Layla N.K, M.Si

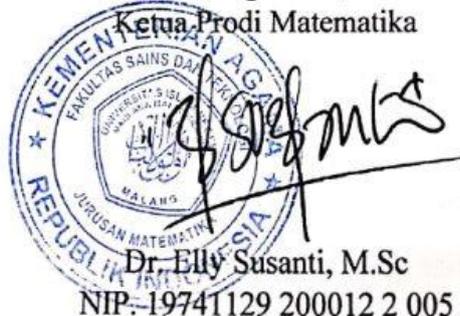
Anggota Penguji 2 : Angga Dwi Mulyanto, M.Si

Anggota Penguji 3 : Fachrur Rozi, M.Si

.....  
.....  
.....  
.....

Mengetahui,

Ketua Prodi Matematika

  
Dr. Elly Susanti, M.Sc  
NIP. 19741129 200012 2 005

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rohmatul Hamidah

NIM : 18610037

Jurusan : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Pendeteksian Daerah Rawan Sambaran Petir *Cloud to Ground*  
(CG) Menggunakan Metode *Space-Time Permutation Scan Statistic*  
Di Kota Pasuruan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan pengambilan tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 10 Agustus 2022  
Yang membuat pernyataan



Rohmatul Hamidah  
NIM.18610037

## MOTO

مهما كان مصيرك ، ستجد طريقة للعثور عليك

“Apapun yang menjadi takdirmu, akan mencari jalannya menemukanmu.” – Ali  
bin Abi Thalib

*“Start now. Start with fear. Start with pain. Start with doubt. Start with hand  
shaking. Start with voice trembling. Start and don’t stop. Start where you are,  
with what you have. Just start”*

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah rabbi ‘aalamiin

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Saya persembahkan skripsi ini kepada:

Ibunda tercinta Siti Romlah dan ayah tersayang Alm. Abdul Hamid yang telah memberikan dukungan dan doa disetiap langkah untuk keberhasilan anaknya.

Terima kasih atas perjuangan kalian, segala pencapaian yang telah saya capai hingga saat ini ada berkat doa dan kasih sayang dari ibu dan ayah.

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur kehadirat Allah Swt atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Pendeteksian Daerah Rawan Sambaran Petir *Cloud to Ground* (CG) Menggunakan Metode *Space-Time Permutation Scan Statistic* Di Kota Pasuruan” ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari jalan gelap gulita yaitu zaman jahiliah menuju islam yang terang benderang.

Skripsi ini disusun sebagai persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana matematika di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Terelesaiakannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA, selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus ketua penguji.
3. Dr. Elly Susanti, S.Pd., M.Sc, selaku ketua Program Studi Matematika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Angga Dwi Mulyanto, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberi arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Fachrur Rozi, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang senantiasa membimbing dan memberi arahan penulis.
6. Ria Dhea Layla Nur Kharisma, M.Si, selaku penguji I dalam ujian skripsi.

7. Seluruh dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Djati Cipto Kuncoro, S.Si, selaku Kepala BMKG Stasiun Geofisika Kelas II Tretes, Rozikan, S.Kom, dan segenap staff dan karyawan.
9. Kedua orang tua penulis ibu Siti Romlah dan alm. Abdul Hamid, serta adik penulis Isma Istianah yang telah memberikan dukungan dan doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Seluruh mahasiswa program studi matematika angkatan 2018 dan teman sepembimbingan yang senantiasa memberikan motivasi, semangat dan informasi.
11. Rika Puspita, Nurul Fitriathus, Sonia, Pungki, Vita yang telah memberikan semangat dan dukungan penuh dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca skripsi ini. Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, 7 Agustus 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGAJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....</b>	<b>v</b>
<b>MOTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvii</b>
<b>مستخلص البحث.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II KAJIAN TEORI .....</b>	<b>6</b>
2.1 Definisi Petir .....	6
2.1.1 Proses Terjadinya Petir.....	6
2.1.2 Jenis Petir .....	7
2.1.3 Bahaya Sambaran Petir .....	9
2.2 <i>Space Time Scan Statistic</i> .....	10
2.2.1 <i>Space Time Permutation Scan Statistic</i> .....	11
2.2.2 <i>Space Time Permutation Scan Statistic</i> dengan Pendekatan Poisson .....	14
2.2.3 <i>Likelihood Ratio Test</i> .....	18
2.2.4 Pengujian Hipotesis Monte Carlo .....	22
2.3 Kajian Integrasi Petir dengan Al-Qur'an.....	24
2.4 Kajian Sambaran Petir dengan Metode <i>Space Time Permutation</i> <i>Scan Statistic</i> .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Jenis Penelitian .....	28
3.2 Data dan Sumber Data .....	28
3.3 Lokasi Penelitian .....	28
3.4 Teknik Pengumpulan Data .....	29
3.5 Teknik Analisis Data.....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1 Deskripsi Data.....	32
4.2 Karakteristik Sambaran Petir .....	34
4.3 Uji Distribusi Poisson .....	39

4.4 Pendeteksian Daerah Rawan Sambaran Petir .....	39
4.4.1 <i>Scanning Window</i> Sambaran Petir .....	39
4.4.2 Kandidat Daerah Rawan Sambaran Petir Di Kota Pasuruan.....	41
4.4.3 Pengujian Hipotesis Monte Carlo .....	45
4.5 Kajian Petir dalam Islam.....	48
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>50</b>
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>54</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>64</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Jumlah Sambaran Petir CG+ dan CG- Tahun 2021 .....	33
Tabel 4.2 Deskriptif Data Sambaran Petir Tahun 2021 .....	34
Tabel 4.3 Hasil Klasifikasi Sambaran Petir CG- dan CG+.....	36
Tabel 4.4 Hasil Uji <i>Kolmogorov Smirnov</i> .....	39
Tabel 4.5 Kandidat Daerah Rawan yang Terdeteksi.....	42
Tabel 4.6 Hasil Proses <i>Scanning Window</i> .....	46
Tabel 4.7 Nilai LRT Daerah Rawan Sambaran Petir.....	47

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis Petir .....	9
Gambar 2.2 <i>Circular Window</i> .....	12
Gambar 2.3 <i>Cylindric Window</i> .....	13
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	31
Gambar 4.1 Peta Kelurahan Kota Pasuruan .....	32
Gambar 4.2 Grafik Jumlah Sambaran Petir CG- dan CG+ Tahun 2021 .....	35
Gambar 4.3 Peta Jumlah Sambaran Petir CG- Tahun 2021 .....	37
Gambar 4.4 Peta Jumlah Sambaran Petir CG+ Tahun 2021 .....	38
Gambar 4.5 <i>Scanning Window</i> yang Menjadi Kandidat Daerah Rawan Petir.	40
Gambar 4.6 Kandidat Daerah Rawan dengan Titik Sambaran Petir.....	41
Gambar 4.7 Pemetaan Daerah Rawan Sambaran Petir Kota Pasuruan.....	48

## DAFTAR SIMBOL

- $S_i$  : Titik pusat pada sub wilayah
- $x_i$  : Garis lintang (*latitude*)
- $y_i$  : Garis bujur (*longitude*)
- $C$  : Jumlah keseluruhan sambaran petir
- $C_{mt}$  : Jumlah kasus bulanan sambaran petir
- $C_A$  : Jumlah sambaran petir dalam *scanning window*
- $\mu_{mt}$  : Jumlah kasus yang diharapkan
- $\mu_A$  : Banyaknya kejadian pada *scanning window A*
- $p$  : Peluang sambaran petir di dalam *scanning window*
- $q$  : Peluang sambaran petir di luar *scanning window*
- $\hat{p}$  : MLE yang memaksimumkan  $L(\Omega_1)$
- $\hat{q}$  : MLE yang memaksimumkan  $L(\Omega_1)$
- $p\mu_{mt}$  : Banyaknya hasil percobaan di dalam *scanning window* dengan selang waktu tertentu
- $q\mu_{mt}$  : Banyaknya hasil percobaan di luar *scanning window* dengan selang waktu tertentu
- $L(\Omega)$  : Fungsi *likelihood* untuk  $\Omega$
- $L(\Omega_1)$  : Fungsi *likelihood* untuk  $\Omega_1$
- $c$  : Panjang interval
- $max$  : Jumlah data maksimum
- $min$  : Jumlah data minimum
- $k$  : Jumlah kelas
- $T_v$  : Penjumlahan LRT data acak yang dibangun di bawah kondisi  $H_0$
- $T$  : Banyaknya penjumlahan LRT data asli
- $m$  : Banyaknya simulasi

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Data Spasial Sambaran Petir Kelurahan Kota Pasuruan.....	54
Lampiran 2. Hasil <i>Running</i> SaTScan.....	55
Lampiran 3. Daerah Rawan di Kelurahan Masing-masing <i>Cluster</i> .....	59

## ABSTRAK

Hamidah, R. 2022. **Pendeteksian Daerah Rawan Sambaran Petir *Cloud to Ground* (CG) Menggunakan Metode *Space-Time Permutation Scan Statistic* Di Kota Pasuruan**. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Angga Dwi Mulyanto, M.Si. (II) Fachrur Rozi, M.Si.

**Kata Kunci:** *Space-Time Permutation Scan Statistic*, *Likelihood Ratio Test (LRT)*, *Cluster*, Daerah Rawan, Petir.

Petir merupakan salah satu fenomena alam yang disebabkan oleh pelepasan muatan positif dan muatan negatif yang terjadi pada awan *cumulonimbus* (Cb). Petir CG merupakan petir yang menyambar dari awan ke tanah. Petir ini berbahaya bagi aktivitas manusia yang dapat menyebabkan luka bakar, buta, bahkan tuli sementara. Pada Penelitian ini akan ditentukan daerah rawan sambaran petir CG dan karakteristik petir di kota Pasuruan. *Space-Time Permutation Scan Statistic* merupakan metode yang digunakan untuk mendeteksi daerah rawan dengan mempertimbangkan aspek spasial dan aspek temporal. Metode ini hanya membutuhkan data kasus yaitu lokasi dan waktu tanpa menggunakan data populasi. Daerah rawan yang terdeteksi akan diuji signifikansinya menggunakan Monte Carlo dengan  $p\text{-value} < 0,05$  dan diambil nilai berdasarkan *likelihood ratio test* (LRT) tertinggi. Berdasarkan hasil penelitian karakteristik petir pada kasus bulanan, sambaran terbanyak terjadi pada petir jenis CG- bulan desember 2021 dengan total 882 sambaran. Jumlah sambaran petir CG- dan CG+ tertinggi berada pada kelurahan Blandongan dan terjadi pada sebagian area sawah. Sambaran petir yang tinggi pada area sawah memungkinkan terjadinya dampak negatif dari sambaran petir seperti pohon tumbang, merusak area persawahan, dan dapat menyambar manusia yang berada di sekitar perawahan. Serta didapatkan sembilan kandidat daerah rawan dengan satu daerah rawan yang signifikan pada kelurahan Sekargadung kota Pasuruan.

## ABSTRACT

Hamidah, R. 2022. **On The Detection of Cloud to Ground (CG) Lightning Strike-Prone Areas Using the Space-Time Permutation Scan Statistic Method in Pasuruan City**. Thesis. Program Study of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Angga Dwi Mulyanto, M.Sc. (II) Fachrur Rozi, M.Sc.

**Keywords:** Space-Time Permutation Scan Statistics, Likelihood Ratio Test (LRT), Cluster, Hazardous Areas, Lightning.

Lightning is a natural phenomenon caused by the release of positive and negative charges occur in cumulonimbus (Cb) clouds. CG lightning is a lightning that strikes from the clouds to the ground. This lightning is dangerous for human activities which can cause burns, blindness, and even temporary deafness. This research will determine the areas prone to CG lightning strikes and lightning characteristics in the city of Pasuruan. Space-Time Permutation Scan Statistics is a method used to detect vulnerable areas by considering spatial and temporal aspects. This method merely requires case data, such as location and time without using population data. The detected vulnerable areas will be tested for significance using Monte Carlo with  $p\text{-value} < 0.05$ . Furthermore, the value is taken based on the likelihood ratio test (LRT). Based on the results of research on the characteristics of lightning in monthly cases, the most strikes occurred in CG-type lightning in December 2021 with a total of 882 strikes. The highest number of CG- and CG+ lightning strikes was in Blandongan and occurred in some rice fields. High lightning strikes in rice fields permit negative impacts from lightning strikes such as fallen trees, damaging rice fields, and can strike humans around rice fields. And obtained nine candidate prone areas with one significant vulnerable area in the Sekargadung village, Pasuruan city.

## مستخلص البحث

حميدة، ر. 2022. اكتشاف المنطقة المعرضة للصاعقة السحب على الأرض *Cloud to Ground* (CG) بطريقة الإحصائية لمسح تقلب الزمكان في مدينة باسوروان. البحث الجامعي. قسم الرياضيات ، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) أنجغا دوي مولياننو الماجستير، (2) فخر الرازي الماجستير.

**الكلمات المفتاحية:** إحصائيات مسح تقلب الزمكان، اختبار نسبة الاحتمالية (LRT)، الكتلة ، المنطقة المعرضة، الصاعقة.

الصاعقة هي إحدى ظاهرة طبيعية بسبب إطلاق الشحن الموجب والسالب الذي يحدث في السحب المزن الركامي (*Cumulonimbus*). الصاعقة CG هي الصاعقة التي تضرب من السحب إلى الأرض. وهذه الصاعقة خطيرة على الأنشطة البشرية التي تسبب إلى جرح الحرق والعمى حتى الصمم المؤقت. وسيحدد من هذا البحث المنطقة المعرضة لضربة الصاعقة CG وخصائص الصاعقة في مدينة باسوروان. وإحصائية مسح التقلب في الزمكان (*Space-Time Permutation Scan Statistic*) هي طريقة تستخدم لاكتشاف المنطقة المعرضة للخطر باعتبار الجوانب المكانية والزمانية. وتحتاج هذه الطريقة إلى بيانات الحالة فقط، أي الموقع والوقت بلا استخدام بيانات المجتمع. وستختبر المنطقة المعرضة للصاعقة المكتشفة من أجل الجوهرية باستخدام مونت كارلو (Monte Carlo) بقيمة  $p > 0.05$  وتؤخذ القيمة كأساس اختبار نسبة الاحتمالية (LRT). وبناءً على نتائج البحث حول خصائص الصاعقة في الحالة الشهرية، حدثت أكثر ضربة الصاعقة من نوع CG في ديسمبر 2021 بالمجموع الإجمالي 882 ضربة. وكان أكبر عدد من ضربة الصاعقة CG السالبة وCG الموجبة في بلاندونجان وحدثت في بعض دائرة المزرعة. وتسبب كثير ضربة الصاعقة في دائرة المزرعة إلى وجود الأثر السلبي من ضربة الصاعقة مثل سقط الشجرة وتدمير دائرة المزرعة ويمكن أن تضرب البشر حول دائرة المزرعة. وحصلت على 9 مناطق كمرشحة المنطقة المعرضة للصاعقة بالمنطقة الواحدة المعرضة الهامة في سكار غادونج بمدينة باسوروان.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Peristiwa alam yang tidak dapat dicegah salah satunya adalah petir. Pelepasan muatan dalam awan yang saling bertemu dapat menyebabkan terjadinya petir. Muatan dalam awan yang menyebabkan terjadinya petir adalah awan dengan muatan ion positif (+) dan muatan ion negatif (-), terutama pada awan *cumulonimbus* (Cb). Awan jenis ini dapat menghasilkan kilatan yang disusul dengan suara keras yang disebut guruh dan bahkan dapat menghasilkan petir serta angin puting beliung. Terdapat empat jenis petir diantaranya yaitu petir di dalam awan atau petir *Intra Cloud* (IC), petir awan ke awan yang lain atau petir *Cloud to Cloud* (CC), petir dari awan ke udara atau biasa disebut *Cloud to Air* (CA) , dan yang terakhir adalah petir dari awan ke tanah atau petir *Cloud to Ground* (CG) (Husni, 2002).

Sambaran petir dari awan ke tanah atau petir *Cloud to Ground* (CG) merupakan salah satu jenis petir yang berbahaya bagi aktivitas manusia yang dapat terjadi pada beberapa daerah tertentu. Salah satu daerah yang rawan terhadap sambaran petir adalah kota Pasuruan. Pasuruan merupakan daerah yang berada di dataran tinggi diantara pegunungan dan lautan maka dari itu mudah terbentuknya awan *Cumulonimbus* (Cb). Pertumbuhan penduduk di kota Pasuruan lebih tinggi dibanding dengan kota Madiun dan kota Mojokerto dimana pertumbuhan penduduknya meningkat setiap tahun sebesar 3,5% pada tahun 2018 sampai 2020 (BPS, 2020). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi pertumbuhan penduduk,

maka akan menyebabkan meningkatnya resiko terkena dampak negatif dari sambaran petir (Riqmawatin & Intan, 2020).

Sambaran petir dapat menimbulkan dampak negatif baik secara langsung maupun tidak langsung. Beberapa dampak negatif dari sambaran petir adalah akan menyebabkan sengatan listrik sehingga dapat mengakibatkan serangan jantung, rasa terbakar, bahkan tuli sementara. Petir dapat menyambar objek yang tinggi seperti pohon, bangunan BTS atau tower pemancar, gedung bertingkat, gedung pencakar langit, dan lain-lain. Selain itu sambaran petir juga dapat merusakkan peralatan elektronik dan peralatan listrik yang berada di dalam rumah (Wahjudi, 2014). Dampak negatif tersebut dapat menimbulkan rasa takut pada manusia sebagaimana dalam firman Allah SWT dalam Q.S Ar-Ra'd ayat 12 sebagai berikut:

هُوَ الَّذِي يُرِيكُمُ الْبَرْقَ خَوْفًا وَطَمَعًا وَيُنزِلُ السَّحَابَ الثِّقَالَ

*“Dialah yang memperlihatkan kilat kepadamu, yang menimbulkan ketakutan dan harapan, dan Dia menjadikan mendung.”*

Berdasarkan ayat tersebut Allah SWT memperlihatkan kilatan untuk menimbulkan ketakutan dan harapan. Ayat tersebut juga menunjukkan bahwa Allahlah yang menundukkan kilat, yaitu cahaya mengkilat yang kuat yang terlihat keluar dari celah-celah awan mendung (Muhammad & E.M, 2003a). Dari surat Ar-Ra'd di atas kilatan menimbulkan ketakutan terhadap manusia, sehingga ketakutan tersebut dapat membuat manusia melakukan beberapa upaya untuk meminimalisir terjadinya dampak negatif sambaran petir. Salah satu upayanya adalah dengan mengetahui daerah rawan terjadinya petir. Sehingga dapat menjadi peringatan dini dalam mengambil langkah untuk meminimalisir dampak negatif sambaran petir yang terjadi.

Salah satu metode dalam statistika yang dapat digunakan untuk menentukan daerah rawan dalam suatu kejadian adalah *scan statistics*. *Scan statistics* adalah suatu metode untuk mendeteksi *cluster* berdasarkan lokasi ruang atau waktu. Metode ini ditemukan oleh J. I Naus pada tahun 1965. Pengaplikasian metode *scan statistic* di kembangkan oleh Martin Kulldorf menggunakan *software* SaTScan dengan mengintegrasikan aspek spasial, aspek temporal, maupun aspek spasial dan temporal (Omodior, 2021).

Metode *scan statistic* dikembangkan lagi oleh Martin Kulldorf yang disebut *Space time permutation scan statistic*. *Space time permutation scan statistics* ini dilakukan berdasarkan dimensi ruang dan waktu untuk mendeteksi apakah terjadinya kejadian di area tertentu secara statistik. Saat mendeteksi adanya daerah rawan maka digunakan prinsip pengujian hipotesis yang didasarkan pada uji rasio *likelihood* atau *Likelihood Ratio Test* (LRT). Keunggulan dari metode *space time permutation scan statistics* yaitu dapat mendeteksi daerah rawan sambaran petir hanya dengan menggunakan data kasus tanpa data populasi (Maryana, dkk., 2012).

Sampai saat ini penelitian terkait sambaran petir sangatlah sedikit. Diantaranya adalah penelitian yang membahas tentang “Metode DBSCAN *Clustering* untuk Analisis Pola Penyebaran Petir di Pasuruan”. Penelitian tersebut menghasilkan dua *cluster* dengan *cluster* pertama menyebar di wilayah Pasuruan dan *cluster* kedua di sekitar kecamatan Prigen (Fahamsyah, 2020). Penelitian lain yang membahas tentang “*Space Time Permutation Scan Statistic* untuk Mendeteksi *Hotspot* Kejadian Gempa Bumi di Sulawesi Tengah” dengan *hotspot* utama berada di kabupaten Donggala dan kota Palu sedangkan *hotspot* sekunder berada di kabupaten Banggai, kabupaten Banggai Laut, kabupaten Tojo Una-Una, serta

kabupaten Morowali Utara (Yakin, 2019). Berdasarkan penjelasan di atas, penulis ingin melakukan penelitian “Pendeteksian Daerah Rawan Sambaran Petir *Cloud to Ground* (CG) Menggunakan Metode *Space-Time Permutation Scan Statistic* di Kota Pasuruan.”

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas penulis menuliskan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik dari sambaran petir di kota Pasuruan?
2. Bagaimana pendeteksian daerah rawan sambaran petir di kota Pasuruan menggunakan metode *space time permutation scan statistic*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas penulis menuliskan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik dari sambaran petir di kota Pasuruan.
2. Mengetahui pendeteksian daerah rawan sambaran petir di kota Pasuruan menggunakan metode *space time permutation scan statistic*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis

Menambah pengetahuan dalam menerapkan ilmu statistika yaitu mendeteksi daerah rawan sambaran petir CG menggunakan metode *space time permutation scan statistic* dan mengkarakteristik petir CG.

## 2. Bagi Program Studi

Menjadi tambahan referensi bacaan untuk melanjutkan penelitian tentang metode *space time permutation scan statistic*.

## 3. Bagi Instansi

Mengetahui penerapan metode *space time permutation scan statistic* dalam mendeteksi daerah rawan sambaran petir CG, dapat mengetahui daerah yang memiliki resiko tinggi sambaran petir CG di kota Pasuruan, dan dapat mengetahui karakteristik petir di kota Pasuruan.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah diperlukan dalam penelitian ini agar terarah sesuai dengan yang diharapkan. Penelitian ini hanya terfokus di kota Pasuruan dan data yang diteliti adalah data titik sambaran petir *Cloud to Ground (CG+)* dan petir *Cloud to Ground (CG-)* kasus bulanan pada tanggal 1 Desember 2021 sampai 31 Desember 2021. Pengelompokan daerah rawan sambaran petir dibatasi berdasarkan pada kelurahan di kota Pasuruan.

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **2.1 Definisi Petir**

Petir merupakan salah satu fenomena alam sering kali terjadi pada waktu musim hujan datang. Petir yang terjadi berupa kilatan terang sesaat yang berbentuk zigzag dan disusul dengan suara yang keras dan menggelegar. Suara keras yang datang setelah kilatan terang sesaat disebut guruh. Perbedaan kecepatan cahaya serta kecepatan suara menyebabkan terjadinya jeda waktu sesaat antara kilatan terang dengan suara keras dan menggelegar atau guruh (Viemeister, 1972).

Peristiwa alam petir ini dapat dianalogikan seperti kondensator raksasa. Arti dari analogi ini adalah awan lempeng pertama sebagai lempeng negatif (-) atau lempeng positif, sedangkan lempeng yang kedua ialah bumi sebagai lempeng bebas. Petir dapat terjadi ketika ion negatif (-) dan ion positif (+) saling bertemu sehingga menyebabkan perbedaan potensial antara awan dengan bumi atau awan dengan awan lainnya cukup besar, maka akan terjadi pembuangan muatan (elektron) dari awan ke bumi atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan (Alexander, 2015).

##### **2.1.1 Proses Terjadinya Petir**

Bumi tidak luput dengan fenomena alam. Petir merupakan salah satunya. Tidak jarang fenomena petir ini di ikuti oleh hujan air maupun hujan es. Munculnya petir disebabkan oleh perbedaan potensial awan satu dengan lainnya dan bumi. Berikut adalah proses terjadinya petir (Cooray, 2014):

1. Sumber dari terjadinya petir adalah terbentuknya awan *cumulonimbus* (cb) yang terdiri dari ukuran vertikal yang mencapai 14 km dan ukuran horizontal mencapai 1,5 sampai 7,5 km. Awan *cumulonimbus* dengan ukuran vertikal yang besar menyebabkan terjadinya perbedaan temperatur udara di bagian bawah yang mencapai 0°C dan bagian atas mencapai 40°C.
2. Proses awan yang bergerak secara terus menerus dan secara teratur menyebabkan terjadinya muatan. Sehingga terjadinya interaksi antara awan menyebabkan berkumpulnya muatan negatif di sisi pertama. Sedangkan, muatan positif berkumpul pada sisi kedua.
3. Terjadi proses pembuangan muatan negatif dengan media udara ketika terdapat perbedaan yang besar antara awan dan bumi. Hal ini terjadi untuk mencapai kesetimbangan sehingga mengakibatkan pembuangan muatan negatif dari awan ke bumi.

### 2.1.2 Jenis Petir

Petir memiliki empat jenis tipe yang berbeda-beda. Berikut adalah penjelasan dan jenis tipe petir (Husni, 2002):

1. Petir *Cloud to Ground* (CG) atau petir dari awan ke tanah

Petir jenis ini adalah petir yang paling berbahaya dan merusak bagi aktivitas manusia. Hal ini terjadi karena pusat muatan yang lebih rendah menghantarkan muatan negatif dari awan ke tanah dan bisa juga pusat muatan positif yang menghantarkan dari awan tanah. Jenis petir ini terdapat dua macam yaitu *cloud to ground* positif dan *cloud to ground* negatif. Petir *Cloud to Ground* positif (CG+) ini terjadi akibat induksi medan listrik

negatif di permukaan bumi dengan bagian pusat awan atau disebut *convective core* yang bermuatan positif. Sedangkan petir *Cloud to Ground* negatif (CG-) terjadi karena induksi medan listrik positif yang berada di permukaan bumi pada bagian pusat awan yang bermuatan negatif (Septiadi, dkk., 2011). Ketika terjadi perbedaan muatan awan maka dapat menyebabkan bertemunya kedua muatan dan terjadilah proses tarik menarik antara kedua muatan dan terjadilah sambaran petir.

2. Petir *Intra Cloud* (IC) atau Petir dalam awan

Petir IC atau petir dalam awan terjadi karena muatan negatif dalam awan bertemu dengan muatan positif dalam awan dan terjadi pada satu awan saja. Ketika petir ini terjadi tidak jarang kilatan cahaya akan terlihat karena keluar dari batas awan.

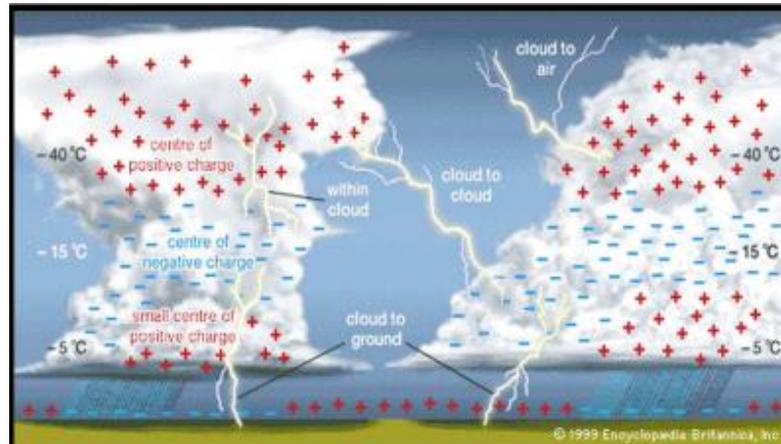
3. Petir *Cloud to Cloud* (CC) atau petir dari awan ke awan

Petir jenis ini terjadi karena satu awan memiliki satu muatan negatif yang bertemu dengan satu awan lain yang memiliki muatan positif, maupun sebaliknya. Berbeda dengan petir *intra cloud* yang terjadi pada satu awan dengan muatan yang berlawanan, petir jenis *cloud to cloud* terjadi pada dua awan yang berbeda muatan.

4. Petir *Cloud to Air* (CA) atau petir dari awan ke udara

Petir *cloud to air* atau petir dari awan ke udara biasanya terjadi apabila muatan positif pada sekitar awan berinteraksi dengan muatan negatif pada udara. Petir ini merupakan kombinasi atau gabungan dengan petir *cloud to ground* atau petir dari awan ke tanah jika terjadi pada awan bagian bawah.

Petir ini terjadi apabila temperatur awan *cumulonimbus* mencapai 40°C dengan muatan awan positif (Alexander, 2015).



**Gambar 2.1** Jenis Petir

### 2.1.3 Bahaya Sambaran Petir

Sambaran petir dapat berbahaya bagi aktifitas manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Berikut adalah bahaya sambaran petir (Wahjudi, 2014):

#### 1. Sambaran Langsung

Sambaran secara langsung yaitu sambaran yang mengenai manusia secara langsung. Sambaran petir 50% yang mengenai manusia mengakibatkan rasa terbakar. Petir akan menyambar pada bagian salah satu telinga atau kepala sehingga menyebabkan serangan jantung secara mendadak, rasa terbakar, buta, bahkan tuli sementara. Apabila seseorang selamat dari sambaran petir kebanyakan sarafnya rusak secara permanen. Selain itu, petir juga dapat menyambar pohon dan bangunan. Ketika bangunan tersambar petir maka arus listrik menjalar pada benda yang bersifat konduktif, sehingga

kemungkinan dapat menyambar manusia yang sedang menggunakan benda bersifat konduktif.

## 2. Sambaran Tidak Langsung

Sambaran tidak langsung yaitu sambaran yang tidak secara langsung mengenai manusia, bangunan maupun pohon. Kerusakan akibat sambaran tidak langsung sulit diidentifikasi dengan jelas karena petir yang menyambar pada satu titik lokasi sehingga hantaran induksi melalui aliran listrik/kabel PLN, telekomunikasi, pipa, PAM dan peralatan besi lainnya dapat mencapai satu km dari tempat petir terjadi. Sehingga tanpa disadari dengan tiba-tiba peralatan elektronika yang mendukung aktivitas manusia terbakar tanpa sebab yang jelas.

### 2.2 *Space Time Scan Statistic*

*Scan statistic* adalah teknik yang dikembangkan oleh Joseph Naus pada tahun 1965. Metode ini digunakan untuk mengelompokkan titik-titik dalam ruang. Terdapat dua pendekatan waktu, pendekatan retrospektif dan pendekatan prospektif yang sering digunakan dalam statistik pemindaian. Pendekatan retrospektif adalah pendekatan temporal yang berkaitan dengan masa lalu, dan pendekatan prospektif adalah pendekatan yang berkaitan dengan masa sekarang (Kulldorff, dkk., 2005).

Pendeteksian daerah rawan pada metode *scan statistic* dapat dilihat dari *likelihood ratio test* atau uji kemungkinan rasio. Metode ini dapat menggunakan data spasial murni ataupun spasial temporal dengan data titik. Semua *scanning window* pada data titik adalah kemungkinan area yang dipusatkan pada setiap titik.

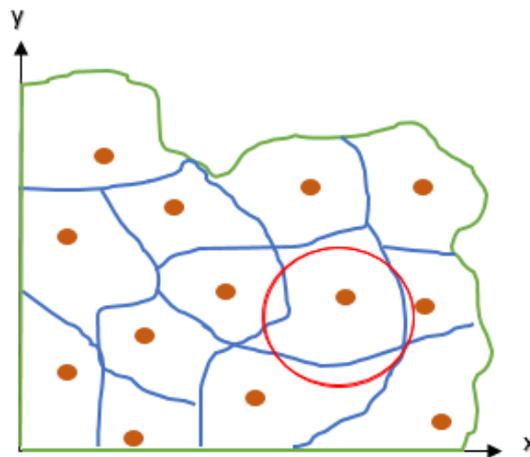
Hal ini dilakukan sampai pada maksimum ukuran cluster sebesar 50% dari total populasi dan dilakukan untuk semua lokasi (Jung, dkk., 2007).

*Space time scan statistics* bertujuan untuk mendeteksi apakah suatu daerah tertentu dalam jangka waktu tertentu memiliki potensi kejadian yang jauh lebih tinggi daripada daerah dan waktu lainnya. *Space time scan statistics* banyak digunakan untuk analisis *retropective* yang menggunakan data masa lampau sedangkan *prospective* menggunakan data di masa sekarang. Terdapat delapan model dalam *scan statistics*, yaitu model Bernouli, model distribusi Poisson model Poisson digunakan untuk data cacah, model *space time permutation*, model multinomial untuk data kategori, model ordinal untuk data kategori yang terurut, model eksponensial untuk data waktu hidup dengan ataupun tanpa sensor, model normal, dan model Poisson kontinu (Kulldorff, 2021).

### **2.2.1 *Space Time Permutation Scan Statistic***

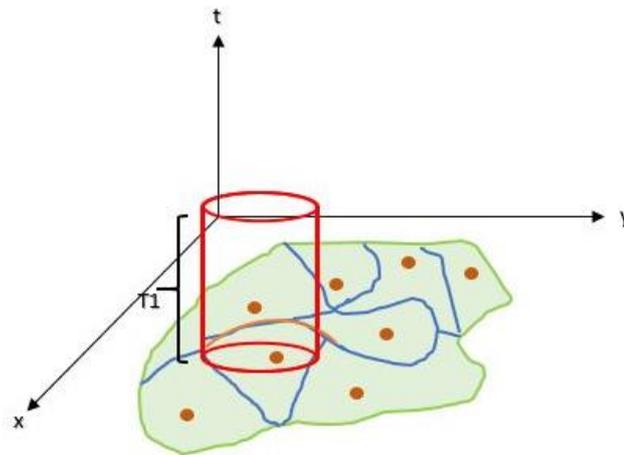
*Space time permutation scan statistics* merupakan pengembangan dari analisis spasial. Jumlah kasus yang diamati dalam satu kelompok dibandingkan yang diharapkan jika lokasi spasial dan temporal untuk semua kasus tidak bergantung satu sama lain, sehingga tidak ada interaksi antara ruang dan waktu. Itu berarti, ada sekelompok wilayah geografis yang, dalam jangka waktu tertentu, memiliki tingkat kasus yang lebih tinggi daripada di wilayah geografis lain selama periode ini. *Space time permutation scan statistic* ini secara otomatis menyesuaikan untuk kelompok spasial dan temporal. Oleh karena itu, tidak ada versi spasial atau temporal murni dari model ini (Kulldorff, dkk., 2005).

Langkah awal dalam menentukan *cluster* ini adalah dengan menentukan *scanning window* atau jendela pemindaian. *Cluster scanning window* adalah kumpulan daerah pada waktu interval waktu tertentu yang berpotensi menjadi *most likely cluster*. Terdapat dua jenis *scanning window* yaitu *circular window* dan *cylindric window*. *Circular window* digunakan hanya menggunakan aspek spasial, sedangkan *cylindric window* digunakan jika menggunakan aspek spasial dan temporal. Penelitian ini menggunakan jendela pemindaian berupa *cylindric window*. Berikut adalah perbedaan *cylindric window* dan *circular window* (Maryana, dkk., 2012).



**Gambar 2.2** *Circular Window*

Pada gambar 2.2 merupakan *circular window* yang berbentuk lingkaran dengan ■ adalah batas dari area kasus dan ■ adalah batas dari beberapa sub wilayah yang terbagi dengan paling tidak satu pusat kejadian yang dilambangkan dengan ●. Lingkaran merah adalah hasil *scanning window* yang terbentuk.



**Gambar 2.3** *Cylindric Window*

Pada gambar 2.3 *cylindric window* atau jendela berbentuk silinder dengan  $t$  yang merupakan periode waktu. *Scanning window* yang terbentuk berupa silinder dengan alas berbentuk lingkaran merah berbentuk silinder pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  dan tinggi silinder pada sumbu  $T1$ . Berikut adalah langkah-langkah dalam menentukan *cylindric window* (Maryana, dkk., 2012):

1. Menghitung jarak sub wilayah satu dengan sub wilayah yang lain
  - a. Pilih sembarang titik pusat dari sub wilayah. Hitung jarak Euclid dari titik pusat koordinat tersebut ke titik pusat koordinasi sub wilayah yang lainnya. Sebagai contoh: Ambil  $S_i$  yang merupakan titik pusat sembarang pada sub wilayah. Koordinat pusat  $S_i$  dapat dituliskan sebagai  $(x_i, y_i)$  dengan  $x_i$  menyatakan *latitude* (garis lintang) dan  $y_i$  menyatakan *longitude* (garis bujur). Misalkan diambil titik  $S_1(x_1, y_1)$  Hitung jarak  $S_1$  ke  $S_i$ , sehingga  $S_{1i}$  dapat dirumuskan:

$$S_{1i} = \sqrt{(x_1 - x_i)^2 + (y_1 - y_i)^2} \quad (2.1)$$

- b. Urutkan jarak tersebut dari jarak terdekat sampai terjauh dan ulangi langkah tersebut untuk setiap sub wilayah.

## 2. Membentuk *Cylindric Window*

- a. Pilih sembarang *sub region* yang diwakili oleh titik pusat dari *sub region* tersebut.
- b. Buat suatu silinder yang berpusat di titik pusat koordinat dengan tinggi satu satuan waktu dengan jari-jari sepanjang jarak terdekat titik pusat tersebut dengan *sub region* terdekat. Untuk setiap titik pusat koordinat yang masuk silinder.
- c. Hitung  $n_A$  yang merupakan banyaknya kejadian pada A, dan  $\mu_A$  yang merupakan banyaknya populasi di dalam lingkaran tersebut. Hitung rasio *likelihood* dari masing-masing pasangan  $(n_A; \mu_A)$ . Rasio *likelihood* ini digunakan untuk menguji kesamaan sebaran di dalam dan di luar *scanning window*.
- d. Ulangi langkah b dan c dengan mengubah tinggi dari *cylindric window* sampai dengan batasan temporal window yang ditentukan.
- e. Perbesar jari-jari alas silinder secara kontinu sampai dengan batasan yang ditentukan oleh pengguna, yaitu telah mencapai maksimal 50% dari total populasi di studi area. Daerah yang dibatasi oleh lingkaran tersebut adalah *scanning window* dan dinotasikan dengan A. Ulangi langkah c dan d.

### 2.2.2 *Space Time Permutation Scan Statistic* dengan Pendekatan Poisson

Distribusi Poisson ditemukan oleh matematikawan berkebangsaan Perancis yang bernama S.D.Poisson pada tahun 1781 sampai 1841. Distribusi Poisson merupakan variabel acak diskrit bagi peubah acak X yang menyatakan banyaknya hasil percobaan, dimana banyaknya hasil percobaan yang terjadi

selama selang waktu tertentu atau daerah tertentu. Selang waktu dapat berupa jam, minggu, bulan dan tahun, sedangkan daerah tertentu dapat berupa ruas garis, suatu luasan, suatu volume. Distribusi Poisson biasanya dilambangkan dengan  $f(x; \mu)$  (Walpole, 1993):

$$f(x; \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots, \quad (2.2)$$

dimana nilai peluang bergantung pada  $\mu$  yaitu rata-rata banyaknya hasil percobaan selama selang waktu atau daerah tertentu dan  $e = 2.718\dots$

Peubah acak  $X$  yang menyatakan banyaknya hasil percobaan dalam suatu percobaan Poisson disebut peubah acak Poisson dan distribusi peluangnya disebut distribusi Poisson. Karena nilai-nilai peluangnya hanya bergantung pada  $\mu$ , yaitu rata-rata banyaknya hasil percobaan yang terjadi selama selang waktu atau daerah yang diberikan, maka distribusi ini biasanya dilambangkan dengan  $f(x; \mu)$  (Walpole, 1993).

Ciri-ciri distribusi Poisson adalah banyaknya hasil percobaan dalam interval suatu waktu atau daerah tertentu tidak bergantung pada banyaknya hasil percobaan yang terjadi pada interval waktu atau daerah lain yang terpisah, peluang terjadinya satu hasil percobaan selama interval waktu yang singkat atau dalam suatu daerah yang kecil sebanding dengan panjang selang waktu tersebut atau besarnya daerah tersebut dan tidak bergantung pada banyaknya hasil percobaan yang terjadi di luar selang waktu atau daerah tersebut, serta peluang bahwa lebih dari satu hasil percobaan akan terjadi dalam selang waktu yang singkat tersebut atau dalam daerah yang kecil tersebut dapat diabaikan (Walpole, 1993).

Misalkan  $C_{mt}$  adalah jumlah kasus bulanan sambaran petir pada lokasi spasial yang terjadi pada  $t = 1, 2, \dots, T$ , dimana  $C$  adalah jumlah keseluruhan kasus sambaran petir yang terjadi, sehingga :

$$C = \sum_m \sum_t C_{mt} \quad (2.3)$$

Misalkan  $\mu_{mt}$  adalah jumlah kasus yang diharapkan, dimana dugaan jumlah kasus pada waktu  $t$  dikali dengan proporsi semua kasus pada lokasi sama dengan jumlah kasus lokasi spasial, sehingga

$$\mu_{mt} = \frac{1}{C} \left( \sum_m C_{mt} \right) \left( \sum_t C_{mt} \right) \quad (2.4)$$

Dimana  $\sum_m C_{mt}$  merupakan jumlah sambaran petir pada lokasi spasial untuk semua waktu, dan  $\sum_t C_{mt}$  merupakan jumlah sambaran petir pada waktu  $t$  untuk semua lokasi spasial, sehingga kasus yang diharapkan pada *scanning window* yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\mu_A = \sum_{(m,t) \in A} \mu_{mt} \quad (2.5)$$

Jumlah kasus sambaran petir yang termuat dalam *scanning window* dimisalkan oleh  $C_A$ . Saat tidak ada kejadian atau interaksi ruang dan waktu, maka  $C_A$  diasumsikan berdistribusi Hipergeometrik dengan fungsi kepekatan peluang sebagai berikut (Kulldorff, dkk., 2005):

$$P(C_A) = \frac{\binom{\sum_{m \in A} C_{mt}}{C_A} \binom{C - \sum_{m \in A} C_{mt}}{\sum_{t \in A} C_{mt} - C_A}}{\binom{C}{\sum_{t \in A} C_{mt}}} \quad (2.6)$$

$\sum_{m \in A} C_{mt}$  dan  $\sum_{t \in A} C_{mt}$  relatif lebih kecil dari pada jumlah populasi  $C$ , sehingga dapat digunakan pendekatan Poisson. Misalkan  $p$  adalah peluang kasus

sambaran petir di dalam *scanning window* yang terbentuk, dan  $q$  adalah peluang kasus sambaran petir di luar *scanning window* yang terbentuk. Pada distribusi Poisson nilai peluangnya bergantung pada rata-rata hasil percobaan yang terjadi dalam selang waktu atau daerah yang diberikan. Sehingga  $p\mu_{mt}$  merupakan banyaknya hasil percobaan di dalam *scanning window* selama selang waktu tertentu, dan  $q\mu_{mt}$  merupakan banyaknya hasil percobaan di luar *scanning window* selama selang waktu tertentu, sehingga fungsi kepekatan peluang dari peubah acak Poisson adalah sebagai berikut (Kulldorff, dkk., 2005).

$$f(C_{mt}) = \begin{cases} \frac{e^{-p\mu_{mt}}(p\mu_{mt}(x_{mt}))^{C_{mt}}}{C_{mt}!}, & x_{mt} \in A \\ \frac{e^{-q\mu_{mt}}(q\mu_{mt}(x_{mt}))^{C_{mt}}}{C_{mt}!}, & x_{mt} \notin A \end{cases} \quad (2.7)$$

Langkah pertama dalam mendeteksi daerah rawan adalah dengan menguji data tersebut. Salah satu uji yang biasa digunakan adalah uji *kolmogorov smirnov*. Uji *kolmogorov smirnov* digunakan untuk mengetahui suatu data berdistribusi tertentu atau tidak. Sebelum dilakukan uji distribusi data akan dikelompokkan sesuai kelasnya. Dimana pembagian kelas menggunakan atura sturgess dengan rumus sebagai berikut (Kurniati & Rahardjo, 2015):

$$k = 1 + 3,3 \log(n) \quad (2.8)$$

dimana,  $k$  adalah jumlah kelas dan  $n$  adalah jumlah data yang diteliti. Setelah menentukan kelas akan ditentukan panjang interval di setiap kelasnya dengan rumus berikut (Kurniati & Rahardjo, 2015):

$$c = \frac{\max - \min}{k} \quad (2.9)$$

keterangan:

$c$  : Panjang interval

$max$  : Jumlah data maksimum

$min$  : Jumlah data minimum

$k$  : Jumlah kelas

Setelah menentukan kelas dan panjang interval langkah selanjutnya adalah menguji apakah data berdistribusi Poisson. Pengujian distribusi ini menggunakan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 = \text{Data berdistribusi Poisson}$$

$$H_1 = \text{Data tidak berdistribusi Poisson}$$

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut (Sismetha, dkk., 2017):

$$D = \max |(S(x) - F_0(x))| \quad (2.10)$$

dimana,  $S(x)$  adalah jumlah kumulatif data kasus dan  $F_0(x)$  adalah jumlah kumulatif distribusi Poisson. Kriteria uji yang akan digunakan adalah tolak  $H_0$  jika nilai statistik uji  $D > D_\alpha$  dimana  $D_\alpha$  diperoleh dari tabel *Kolmogorov-Smirnov* atau dapat menggunakan  $p\text{-value} \leq \alpha$ .

### 2.2.3 Likelihood Ratio Test

Pada model *space time permutation scan statistics* ini menggunakan pendekatan distribusi Poisson. Hipotesis yang digunakan adalah

$$H_0 : p = q$$

$$H_1 : p \neq q$$

dimana  $H_0$  peluang kasus sambaran petir di dalam *scanning window* sama dengan peluang kasus sambaran petir di luar *scanning window* atau tidak ada

pengelompokan kasus. Pada  $H_1 : p \neq q$  terdapat dua kemungkinan yaitu  $p < q$  atau  $p > q$ , karena yang akan ditentukan daerah rawan dimana peluang kejadian sambaran petir di dalam *scanning window* lebih tinggi dibanding yang berada di luar *scanning window*, maka hipotesis alternatif yang diambil adalah  $H_1 : p > q$ . Berikut adalah fungsi *likelihood* dari fungsi kepekatan peluang Poisson (Yakin, dkk., 2019):

$$L(\Omega) = \frac{e^{-p\mu_A - q(C - \mu_A)}}{C_{mt}!} p^{C_A} q^{C - C_A} \prod_{i=1} (x_i) \quad (2.11)$$

Selanjutnya menentukan nilai logaritma natural dari  $L(\Omega)$  atau  $\ln L(\Omega)$  untuk mencari fungsi *likelihood* berdasarkan  $H_0$  atau  $L(\Omega)$  benar jika  $p = q$ , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L(\Omega) &= \left( \frac{e^{-p\mu_A - p(C - \mu_A)}}{C_{mt}!} p^{C_A} p^{C - C_A} \prod_{i=1} (x_i) \right) \\ &= \left( \frac{e^{-p\mu_A - pC + p\mu_A}}{C_{mt}!} p^C \prod_{i=1} (x_i) \right) \\ &= \left( \frac{e^{-pC}}{C_{mt}!} p^C \prod_{i=1} (x_i) \right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \ln L(\Omega) &= \ln \left( \frac{e^{-pC}}{C_{mt}!} p^C \prod_{i=1} (x_i) \right) \\ &= \ln(e^{-pC}) + \ln(p^C) + \ln \left( \prod_{i=1} (x_i) \right) - \ln(C_{mt}!) \\ &= -pC + C \ln(p) + \ln \left( \prod_{i=1} (x_i) \right) - \ln(C_{mt}!) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Pada persamaan (2.13) telah didapatkan  $\ln L(\Omega)$  sehingga langkah selanjutnya akan dicari nilai maksimum dengan turunan terhadap  $p$ , sebagai berikut:

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

$$\begin{aligned}
 -C &= -\frac{C}{p} \\
 p &= \frac{C}{C} = 1
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

Substitusikan persamaan (2.14) nilai p terhadap persamaan (2.12), diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 L(\Omega) &= \frac{e^{-pC}}{C_{mt}!} p^C \prod_{i=1} (x_i) \\
 &= \frac{e^{-C}}{C_{mt}!} \prod_{i=1} (x_i)
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

Selanjutnya menentukan nilai logaritma natural dari  $L(\Omega_1)$  atau  $\ln L(\Omega_1)$  untuk mencari fungsi *likelihood* berdasarkan  $H_1$  atau  $L(\Omega_1)$  benar jika  $p > q$ , sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 L(\Omega_1) &= \frac{e^{-p\mu_A - q(C - \mu_A)}}{C_{mt}!} p^{C_A} q^{C - C_A} \prod_{i=1} (x_i) \\
 \ln L(\Omega_1) &= \ln \left( \frac{e^{-p\mu_A - q(C - \mu_A)}}{C_{mt}!} p^{C_A} q^{C - C_A} \prod_{i=1} (x_i) \right) \\
 &= \ln(e^{-p\mu_A - q(C - \mu_A)}) + \ln(p^{C_A}) + \ln(q^{C - C_A}) \\
 &\quad + \ln \left( \prod_{i=1} (x_i) \right) - \ln(C_{mt}!) \\
 &= -p\mu_A - q(C - \mu_A) + C_A \ln(p) + C - C_A \ln(q) \\
 &\quad + \ln \left( \prod_{i=1} (x_i) \right) - \ln(C_{mt}!)
 \end{aligned}
 \tag{2.16}$$

Pada persamaan (2.16) telah didapatkan  $\ln L(\Omega_1)$  sehingga langkah selanjutnya akan dicari nilai maksimum dengan turunan terhadap  $p$  dan  $q$ , sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \ln L(\Omega_1)}{\partial p} &= 0 \\
-\mu_A - 0 + 0 + \frac{C_A}{p} + 0 + 0 - 0 &= 0 \\
-\mu_A &= \frac{C_A}{p} \\
p &= \frac{C_A}{\mu_A} \tag{2.17}
\end{aligned}$$

Diperoleh  $\hat{p}$  pada (2.17) yang merupakan *maximum likelihood estimator* yang memaksimumkan  $L(\Omega_1)$  Selanjutnya akan dicari parameter dari  $q$ .

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \ln L(\theta)}{\partial q} &= 0 \\
0 - (C - \mu_A) + 0 + \frac{C - C_A}{q} + 0 - 0 &= 0 \\
-(C - \mu_A) &= -\frac{C - C_A}{q} \\
q &= \frac{C - C_A}{C - \mu_A} \tag{2.18}
\end{aligned}$$

Diperoleh  $\hat{q}$  pada (2.18) yang merupakan *maximum likelihood estimator* yang memaksimumkan  $L(\Omega_1)$ . Selanjutnya substitusikan  $p = \frac{C_A}{\mu_A}$  dan  $q = \frac{C - C_A}{C - \mu_A}$  terhadap persamaan (2.11) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
L(\Omega_1) &= \frac{e^{-\left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)\mu_A - \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)(C - \mu_A)}}{C_{mt}!} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} (x_i) \\
&= \frac{e^{-C_A - C + C_A}}{C_{mt}!} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} (x_i) \\
&= \frac{e^{-C}}{C_{mt}!} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1} (x_i) \tag{2.19}
\end{aligned}$$

Penentuan daerah rawan sambaran petir haruslah lebih tinggi peluang yang ada di dalam *scanning window* dibandingkan di luar *scanning window* sehingga hipotesis alternatifnya adalah  $H_1 : p > q$  dengan menggunakan statistik uji dari fungsi *likelihood* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\lambda(x) &= \frac{L(\Omega_1)}{L(\Omega)} \\ &= \frac{\frac{e^{-C}}{C_{mt}!} \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \prod_{i=1}^{C_A} (x_i)}{\frac{e^{-C}}{C_{mt}!} \prod_{i=1}^{C_A} (x_i)} \\ &= \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A}\end{aligned}$$

Berdasarkan hipotesis di atas  $p > q$  atau  $\left(\frac{C_A}{\mu_A}\right) > \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)$ , sehingga rasio *likelihood* nya sebagai berikut:

$$\lambda(x) = \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A}, \text{ jika } \left(\frac{C_A}{\mu_A}\right)^{C_A} > \left(\frac{C - C_A}{C - \mu_A}\right)^{C - C_A} \quad (2.20)$$

Daerah kritis yang digunakan pada uji rasio *likelihood* yaitu tolak  $H_0$  jika  $\lambda(x) \leq k$ , dimana  $k$  bernilai konstan dan dipilih untuk memberikan uji ukuran  $\alpha$  dan nilai  $k$  berada pada  $0 < k \leq 1$  (Bain & Engelhardt, 1993). Kriteria uji yang digunakan diperoleh berdasarkan simulasi *monte carlo*, hal ini dikarenakan distribusi dari rasio *likelihood* yang dihitung tidak diketahui sebarannya.

#### 2.2.4 Pengujian Hipotesis Monte Carlo

*Monte Carlo* pertama kali dikenalkan pada tahun 1977 oleh Compte de Buffon. Simulasi *Monte Carlo* menggambarkan kemungkinan penggunaan data sampel yang diketahui distribusinya atau digunakan apabila mengikutsertakan

bilangan acak dengan suatu distribusi tertentu. Memperoleh fungsi sebaran secara matematis dari *scan statistics* sangat kompleks, sehingga harus digunakan cara lain untuk mendapatkan titik kritis. Pendekatan secara probabilistik yang dapat dilakukan adalah melalui pengujian hipotesis *Monte Carlo*. Setelah didapat statistik uji yaitu uji rasio *likelihood*, maka signifikan dari uji tersebut dievaluasi dengan menggunakan uji hipotesis *Monte Carlo*. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut (Kulldorff, 1997):

$H_0 : p = q$ , menyatakan bahwa tidak terdapat *cluster* yang terbentuk, karena peluang di dalam *scanning window* sama dengan peluang di luar *scanning window*

$H_1 : p > q$ , menyatakan bahwa terdapat *cluster* yang terbentuk, karena peluang di dalam *scanning window* lebih besar dibandingkan peluang di luar *scanning window*

Teknik pengujian hipotesis *Monte Carlo* ini pertama kali digunakan dalam *scan statistics* oleh Turnbull pada tahun 1990. Berikut adalah langkah-langkah pengujian hipotesis *Monte Carlo* (Kulldorff, 1997):

1. Menghitung nilai rasio *likelihood* dari pembuatan *scanning window* tertinggi  $T$  untuk data real atau data asli.
2. Membuat simulasi secara acak dari data asli dengan cara *random permutation* atau permutasi acak. Pembentukan simulasi ini dilakukan pada aspek spasial dan temporal untuk setiap kasus pada data asli dengan merubah secara acak waktu dan diletakkan pada sehimpanan lokasi dari data asli. Sehingga terbentuk satu replika dari data asli tersebut.

3. Membentuk *scanning window* dari data yang sudah dirubah acak dan dicari nilai rasio *likelihood* dari setiap *scanning window* yang terbentuk, kemudian diurutkan nilai rasio *likelihood* dari tertinggi sampai terendah.
4. Mengulangi langkah 2 dan 3 sampai diperoleh nilai rasio *likelihood* tertinggi dan terendah sebanyak  $n$  kali dari simulasi yang dilakukan. Kemudian urutkan nilai *likelihood* tertinggi yang didapat dari setiap simulasi data acak.
5. Uji statistik yang digunakan sebagai berikut (Takahashi, dkk., 2008):

$$p = \frac{1 + \sum_v^m (T_v > T)}{m + 1} \quad (2.22)$$

dimana:

$T_v$  : Penjumlahan LRT data acak yang dibangun di bawah kondisi  $H_0$

$T$  : Banyaknya penjumlahan LRT data asli

$m$  : Banyaknya simulasi

Banyaknya  $m$  simulasi atau pengulangan dibatasi pada angka atau bilangan yang berakhiran sembilan. Setelah didapat nilai  $p$  dengan pendekatan *Monte Carlo*, daerah kritisnya yaitu tolak  $H_0$  apabila nilai  $p < \alpha$ , dimana menurut (Takahashi, dkk., 2008) nilai  $p$  setara dengan *p-value*.

### 2.3 Kajian Integrasi Petir dengan Al-Qur'an

Peristiwa sambaran petir dapat berdampak negatif bagi keberlangsungan hidup manusia. Sambaran petir ini dapat berakibat fatal seperti buta, tuli sementara, serangan jantung mendadak bahkan dapat menyebabkan kematian. Allah berfirman tentang peristiwa petir dalam Q.S. Al-Baqarah ayat 19:

أَوْ كَصَيْبٍ مِّنَ السَّمَاءِ فِيهِ ظُلُمَاتٌ وَرَعْدٌ وَبَرْقٌ يَجْعَلُونَ أَصَابِعَهُمْ فِي آذَانِهِمْ مِنَ الصَّوَاعِقِ حَذَرَ الْمَوْتِ  
وَاللَّهُ مُحِيطٌ بِالْكَافِرِينَ

“Atau seperti (orang yang ditimpa) hujan lebat dari langit, yang disertai kegelapan, guruh, dan kilat. Mereka menyumbat dengan jari-jarinya, menghindari suara petir itu karena takut mati. Allah meliputi orang-orang yang kafir”.

Pada Q.S. Al-Baqarah ayat 19 dalam tafsir al-Maraghi menafsirkan *as-sa'iqah* dengan arti api besar yang turunnya terkadang diantara terjadinya hujan dan kilat. Menurut kamus Lisānul ‘Arabi, *as-sa'iqah* atau petir adalah api yang mematikan dari langit bersamaan dengan guruh yang keras. *Aṣ-Ṣā'iqah* berarti petir adalah bunyi dengan suara keras di udara yang datang bersamaan dengan kilat, terjadi dari ledakan listrik, halilintar. Terjemah al-Qur‘an versi Kementerian Agama RI juga menjelaskan bahwa *Aṣ-Ṣā'iqah* berarti halilintar, adapun definisi halilintar menurut KBBI adalah cahaya yang berkelebat dengan cepat di langit, mata petir.

Pada surat tersebut Allah menyebutkan “....*Mereka menyumbat dengan jari-jarinya, menghindari suara petir itu karena takut mati....*” menurut tafsir Ibnu Katsir ketakutan mereka itu tidak dapat membawa manfaat sedikit pun karena Allah telah meliputi mereka melalui kekuasaan-Nya dan mereka itu berada di bawah kendali kehendakNya (Muhammad & E.M, 2003b). Menandakan bahwa kita sebagai umat-Nya harus bertawakkal meminta perlindungan-Nya dan senantiasa membaca doa ketika terdengar petir agar dilindungi dari dampak negatif sambaran petir.

#### **2.4 Kajian Sambaran Petir dengan Metode *Space Time Permutation Scan Statistic***

Petir merupakan peristiwa pelepasan muatan listrik yang biasanya terjadi karena terdapat perbedaan medan listrik antara dua massa dengan muatan listrik

yang berbeda. Petir dapat menyambar manusia secara langsung dan tidak langsung. Sambaran ini cukup berbahaya dan dapat berakibat fatal. Dampak negatif dari sambaran petir ini dapat membuat manusia melakukan beberapa upaya salah satunya adalah mengetahui daerah rawan sambaran petir. Metode yang dapat digunakan adalah metode *space time permutation scan statistic* dimana data yang digunakan adalah data kasus sambaran petir CG. Metode ini dapat mendeteksi daerah rawan atau daerah resiko terjadinya sambaran petir. Sehingga menganalisis karakteristik sambaran petir diperlukan untuk mengetahui ciri dan gambaran petir di kota Pasuruan.

Mendeteksi daerah rawan sambaran petir dilakukan dengan menguji terlebih dahulu data tersebut berdistribusi Poisson, jika data berdistribusi Poisson maka dapat menggunakan model lain seperti model binomial, eksponensial, dan lain-lain. Selanjutnya adalah menentukan jarak antar sub wilayah atau antar kelurahan di kota Pasuruan yang dilakukan dengan *software* berbasis *open sources* yaitu SaTScan 10.0.2.

Setelah menentukan jarak antar kelurahan, langkah selanjutnya adalah membuat *scanning window* yang berupa *cylindric window* dari data kasus bulanan 34 kelurahan di kota Pasuruan. Menentukan nilai *p-value* dari uji rasio *likelihood* dengan pengujian hipotesis *Monte Carlo*. Pengujian hipotesis menggunakan *Monte Carlo* digunakan apakah *scanning window* yang terbentuk termasuk dalam daerah rawan atau bukan daerah rawan. Hal ini dapat dilihat dari nilai *p-value*, dimana jika  $p\text{-value} < \alpha$  maka kelurahan tersebut termasuk daerah rawan.

Menentukan daerah rawan sambaran petir berdasarkan LRT (*Likelihood Ratio Test*) tertinggi. Daerah rawan akan dicari nilai tertinggi berdasarkan LRT (*Likelihood Ratio Test*) untuk menentukan daerah rawan. Langkah terakhir adalah dengan menginterpretasi *output* data yang menjadi daerah rawan terjadinya kasus sambaran petir di kota Pasuruan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini menggunakan penelitian kuantitatif, dimana data yang diperoleh berupa angka. Pendekatan kuantitatif lebih ditekankan pada analisis numerik, dan kesimpulan yang menjelaskan tingkat signifikan pada variabel yang diteliti. Sehingga, pendekatan kuantitatif dapat digunakan untuk menentukan daerah rawan atau daerah dengan resiko tertinggi sambaran petir di kota Pasuruan.

#### **3.2 Data dan Sumber Data**

Pada penelitian ini menggunakan data titik sambaran petir. Sumber data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder titik sambaran petir *Cloud to Ground* (CG+) dan CG- yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Kelas II Pasuruan, dengan 34 kelurahan yang ada di kota Pasuruan pada tanggal 1 Januari 2021 sampai 31 Desember 2021.

#### **3.3 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian ini bertempat di kota Pasuruan dengan menggunakan aspek lokasi atau spasial (*longitude* dan *latitude*), temporal (waktu kejadian), dan data titik sambaran petir CG+ dan CG- yang menyebar diseluruh kelurahan kota Pasuruan dengan total 3726 sambaran.

### 3.4 Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data titik sambaran petir CG di kota Pasuruan melalui langkah-langkah sebagai berikut:

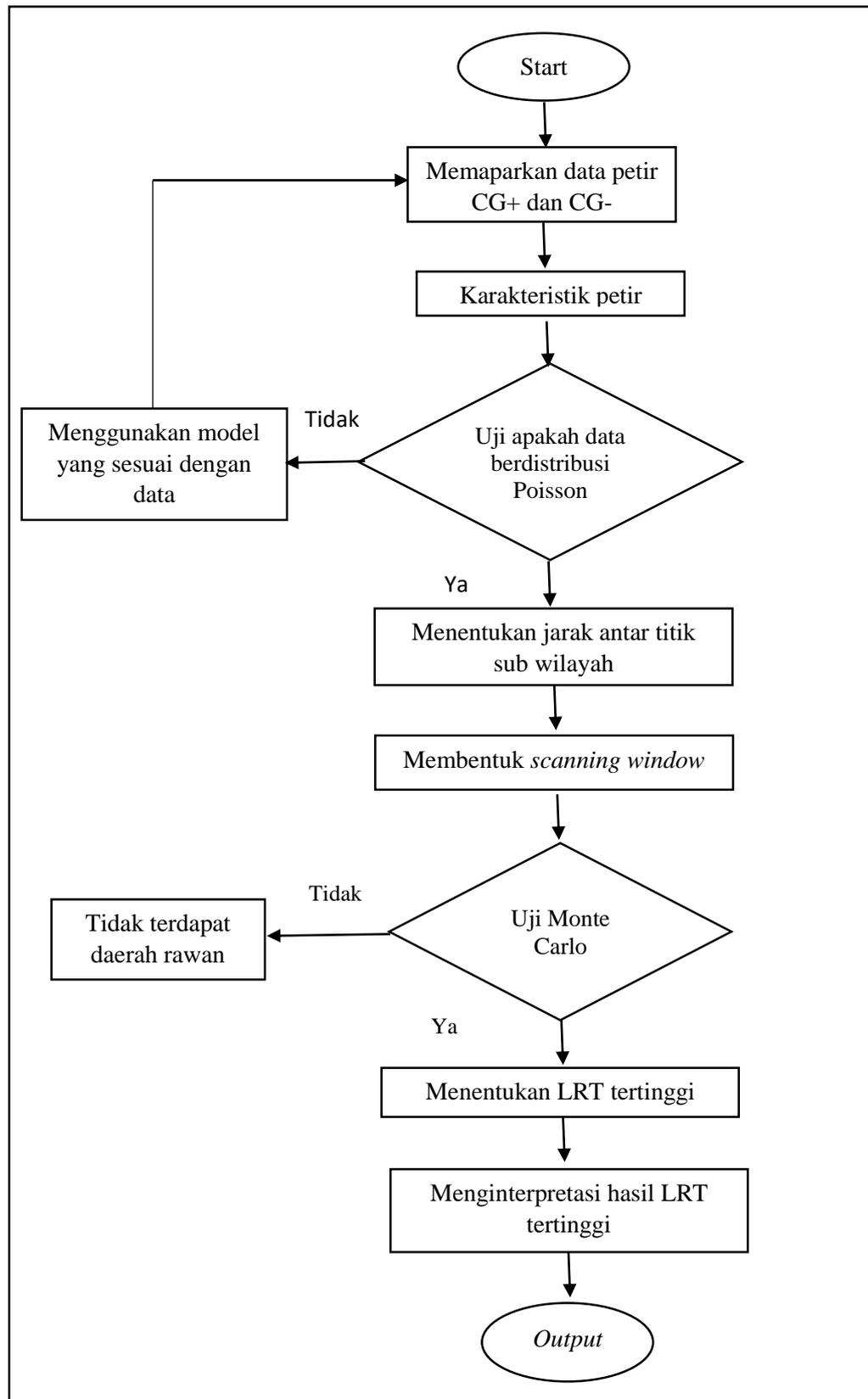
1. Memisahkan data petir CG+ dan CG- menggunakan Ms. Excel.
2. Memasukkan data di *software ArcGis* membuat peta dasar kota Pasuruan lalu mengekspor data.
3. Mengekspor hasil *attribute*.
4. Membuat *one count* data kasus sambaran petir CG+ dan CG-.

### 3.5 Teknik Analisis Data

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik sambaran petir di kota Pasuruan dengan langkah-langkah berikut:
  - a. Memaparkan varian petir *Cloud to Ground (CG+)* dan *Cloud to Ground (CG-)* di 34 kelurahan di kota Pasuruan pada kasus bulanan.
  - b. Menjelaskan karakteristik petir *Cloud to Ground (CG)* di kota Pasuruan.
2. Menguji data dengan menggunakan uji distribusi *chi-square*.
3. Membuat *scanning window* dengan langkah berikut:
  - a. Menentukan jarak antar sub wilayah atau antar titik kelurahan di kota Pasuruan yang terdiri dari 34 kelurahan.
  - b. Membentuk *scanning window* yang berupa *cylindric window* yang dilakukan dengan *software* berbasis *open sources* yaitu SaTScan 10.0.2.

4. Menentukan nilai *p-value* dari uji rasio *likelihood* dengan pengujian hipotesis *Monte Carlo*.
5. Menentukan daerah rawan sambaran petir berdasarkan LRT tertinggi.
6. Menginterpretasi *output* data yang menjadi daerah rawan terjadinya kasus sambaran petir di kota Pasuruan.



**Gambar 3.1** *Flowchart* Penelitian



Berikut adalah tabel data jumlah sambaran petir *cloud to ground* (CG+) dan petir *cloud to ground* (CG-) serta total dari jumlah sambaran CG+ dan CG- di 34 kelurahan kota Pasuruan dengan kasus bulanan:

**Tabel 4.1** Data Jumlah Sambaran Petir CG+ dan CG- Tahun 2021

No.	Bulan	Petir CG+	Petir CG-	Jumlah Sambaran Petir
1	Januari	86	199	285
2	Februari	250	592	842
3	Maret	237	590	827
4	April	161	397	558
5	Mei	6	4	10
6	Juni	10	8	18
7	Juli	12	0	12
8	Agustus	0	0	0
9	September	5	7	12
10	Oktober	2	7	9
11	November	97	174	271
12	Desember	259	623	882
Jumlah		1125	2601	3726

Pada tabel 4.1 diketahui petir jenis CG- paling sering terjadi dengan jumlah 2601 sambaran pada 34 kelurahan di tahun 2021 dan paling sering terjadi sambaran di bulan Desember. Petir CG+ dengan jumlah 1125 sambaran dan total sambaran petir CG+ dan CG- sebanyak 3726 sambaran yang menyebar di 34 kelurahan kota Pasuruan. Berikut adalah hasil perhitungan deskriptif menggunakan program SPSS dengan kasus bulanan:

**Tabel 4.2** Deskriptif Data Sambaran Petir Tahun 2021

	<i>N</i> <i>statistic</i>	<i>Minimum</i> <i>Statistic</i>	<i>Maximum</i> <i>Statistic</i>	<i>Mean</i> <i>Statistic</i>	<i>Std. Deviation</i> <i>Statistic</i>	<i>Variance</i> <i>Statistic</i>
CG-	12	0	623	216,750	261,2192	68235,477
CG+	12	0	259	93,75	105,880	11210,568

Pada tabel 4.2 diketahui bahwa rata-rata kejadian petir CG- sebesar 216,75, dimana terjadi kurang lebih tujuh kali sambaran setiap harinya di wilayah kota Pasuruan. Sedangkan CG+ sebesar 93,75, dimana terjadi kurang lebih tiga kali sambaran setiap harinya. Standar deviasi CG- sebesar 261,2192 yang mendekati nilai rata-rata, yang artinya data kurang bervariasi karena nilai standar deviasi lebih kecil dibandingkan rata-ratanya. Standar deviasi CG+ sebesar 105,880 yang jauh dari nilai rata-rata, yang artinya data bervariasi karena nilai standar deviasi lebih besar dibandingkan rata-ratanya. Nilai varians petir CG- sebesar 68235,477 dan nilai varians CG+ sebesar 11210,568, ini artinya keragaman data sangat besar, sehingga sambaran petir satu dengan yang lain memiliki perbedaan yang cukup besar.

#### 4.2 Karakteristik Sambaran Petir

Karakteristik sambaran petir di lihat dari perbedaan jumlah sambaran petir CG+ dan CG- setiap bulan selama satu tahun di 34 kelurahan kota Pasuruan dengan dilakukan pemetaan secara spasial yang di dasarkan aspek spasial yaitu *longitude* dan *latitude* serta waktu kejadian. Berikut adalah grafik sambaran petir CG+ dan CG- di kota Pasuruan dengan kasus bulanan:



**Gambar 4.2** Grafik Jumlah Sambaran Petir CG- dan CG+ Tahun 2021

Pada gambar 4.2 dapat diketahui bahwa puncak sambaran petir CG- dan CG+ berada di bulan Desember. Sambaran terbanyak pada bulan Desember menyebar di kelurahan Blandongan dengan total 105 sambaran. Hal ini dikarenakan pada bulan Desember 2021 adalah musim hujan, sehingga petir CG- lebih banyak dibandingkan dengan petir CG+. Selanjutnya akan dipetakan untuk mengetahui karakteristik di setiap kelurahan di kota Pasuruan. Sebelum menentukan karakteristik petir maka akan ditentukan pembagian kelas dan frekuensi disetiap kelasnya. Pembagian kelas klasifikasi digunakan rumus pada persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$k = 1 + 3,3\log(n)$$

$$k = 1 + 3,3\log(34)$$

$$k = 1 + 5,05$$

$$k = 6,05$$

Menurut aturan *Sturges* kelas yang didapatkan adalah 6,05 yang dibulatkan menjadi 6 kelas. Perhitungan interval masing-masing kelas sambaran petir CG- di hitung menggunakan rumus pada persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$c = \frac{\max - \min}{k}$$

$$c = \frac{271 - 6}{6}$$

$$c = 44$$

Sedangkan interval pada sambaran petir CG+ adalah sebagai berikut:

$$c = \frac{\max - \min}{k}$$

$$c = \frac{146 - 2}{6}$$

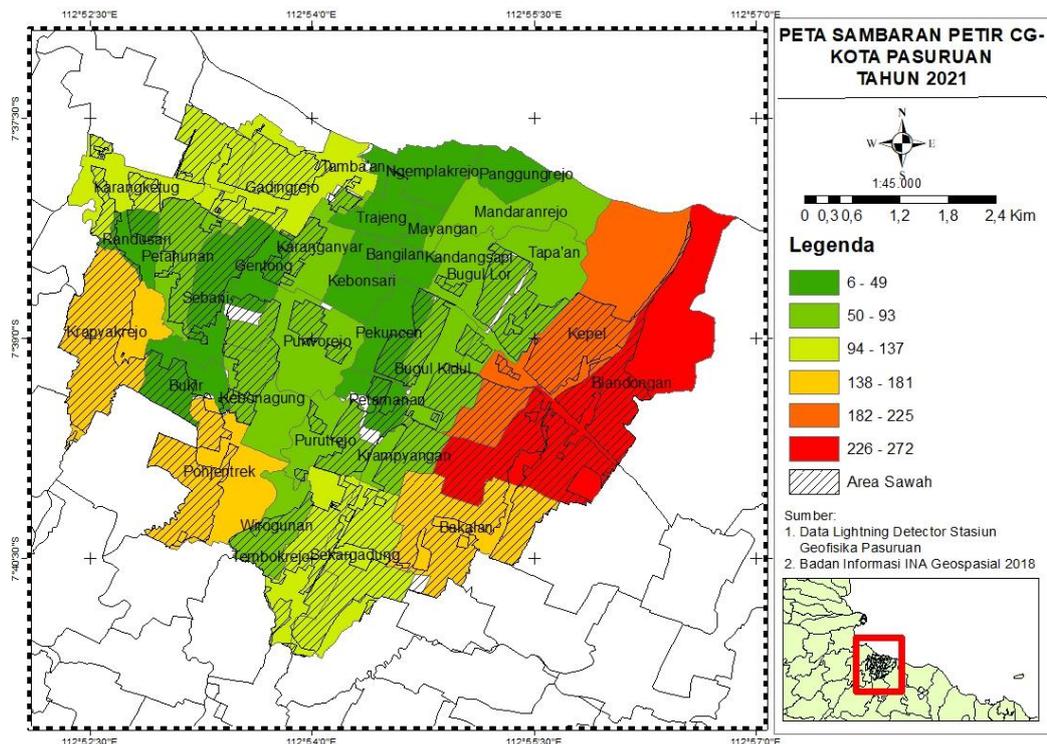
$$c = 24$$

Didapatkan interval CG adalah 44 disetiap kelasnya dan CG+ adalah 24 disetiap kelasnya dengan 6 kelas. Berikut adalah hasil klasifikasi sambaran petir CG- dan CG+ di kota Pasuruan:

**Tabel 4.3** Hasil Klasifikasi Sambaran Petir CG- dan CG+

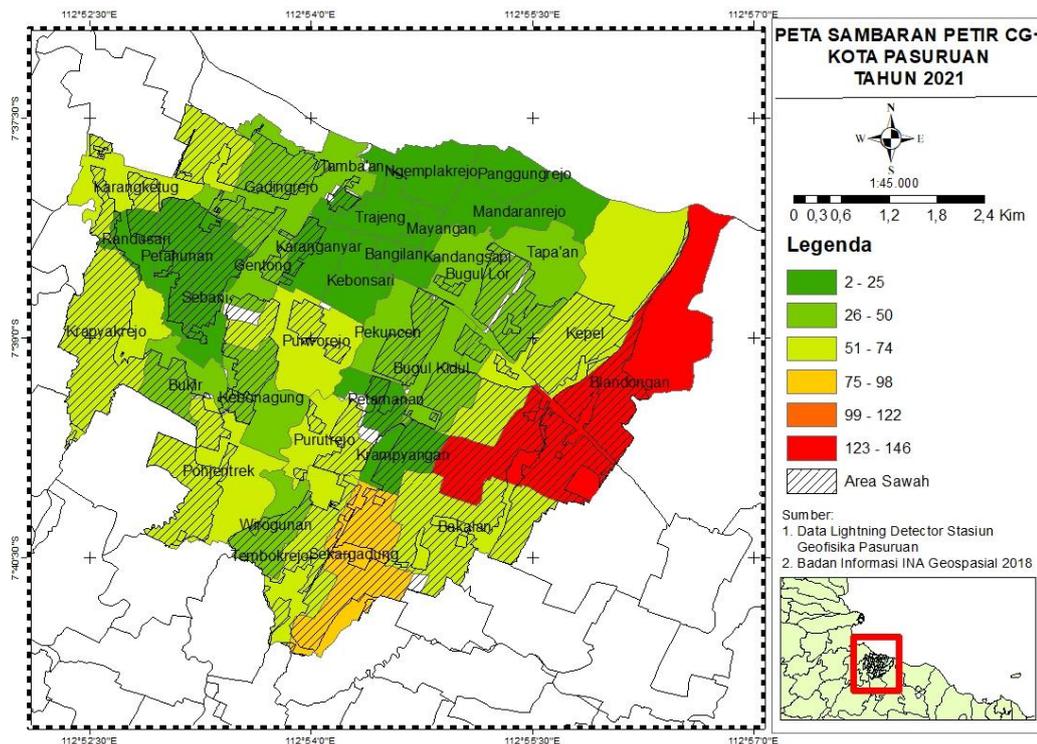
Kelas	Panjang Interval CG-	Frekuensi	Panjang Interval CG+	Frekuensi
Kelas 1	6 - 49	12	2 - 25	13
Kelas 2	50 - 93	12	26 - 50	11
Kelas 3	94 - 137	5	51 - 74	8
Kelas 4	138 - 181	3	75 - 98	1
Kelas 5	182 - 225	1	99 - 122	0
Kelas 6	226 - 272	1	123 - 146	1

Pada tabel 4.3 diperoleh panjang interval petir CG+ dan CG- serta frekuensi sambaran petir CG- dan CG+ di masing-masing kelasnya. Selanjutnya akan dipetakan lokasi sambaran petir di kota Pasuruan. Berikut adalah gambar pemetaan sambaran petir CG- dan CG+:



**Gambar 4.3** Peta Jumlah Sambaran Petir CG- Tahun 2021

Pada Gambar 4.3 diketahui bahwa kelurahan Kepel dan Blandongan memiliki sambaran yang tinggi, dan kelurahan Bakalan, Krapyakrejo dan Pohjentrek berada pada interval yang cukup tinggi. Sambaran tertinggi di kelurahan Blandongan terjadi pada bulan Desember dengan 74 sambaran dari total 271 sambaran. Petir jenis CG- adalah petir yang paling sering terjadi, dimana biasanya petir ini turun bersamaan dengan curah hujan konvektif. Pada kelurahan Blandongan, Kepel, Pohjentrek, Krapyakrejo, dan Bakalan hampir sebagian daerahnya merupakan area sawah. Pada hasil penelitian ini, peneliti tidak menemukan teori yang mendukung mengenai aktivitas sambaran petir yang meningkat pada area sawah. Tetapi sambaran yang terjadi sangat tinggi pada area sawah memungkinkan terjadinya dampak negatif dari sambaran petir seperti, merusak persawahan, menyambar pohon dan lain-lain.



**Gambar 4.4** Peta Jumlah Sambaran Petir CG+ Tahun 2021

Pada Gambar 4.4 diketahui bahwa jumlah sambaran petir CG+ tahun 2021 terbanyak terjadi pada kelurahan Blandongan yang memiliki sambaran sangat tinggi dan kelurahan Sekargadung berada pada interval 75 sampai 96 yang tergolong cukup tinggi. Sambaran tertinggi terjadi pada bulan Desember dengan 31 sambaran dari total 146 sambaran. Berbeda dengan CG- petir jenis CG+ biasanya sering terjadi saat tidak turunnya hujan, sehingga petir CG+ 6 sampai 10 kali lebih berbahaya dari pada CG-. Hal ini menyebabkan petir CG+ dapat menyambar manusia baik secara langsung maupun tidak langsung karena banyak manusia yang beraktivitas di luar terutama pada siang hari. Sambaran petir CG+ pada kelurahan Blandongan dan Sekargadung terjadi pada sebagian area sawah. Sambaran petir yang tinggi pada area sawah memungkinkan terjadinya dampak dari sambaran petir seperti pohon tumbang, menyambar kabel PLN, dan dapat menyambar manusia yang berada pada area sawah.

### 4.3 Uji Distribusi Poisson

Langkah awal dalam menentukan daerah rawan menggunakan metode *space time permutation scan statistic* adalah menguji apakah data yang digunakan berdistribusi Poisson atau tidak dengan menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov*. Hasil dari uji *Kolmogorov Smirnov* didapatkan sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Hasil Uji *Kolmogorov Smirnov*

$D$	$D_{\alpha}$	$P\text{-value}$
0,164	0,51926	0,999

Pada tabel 4.3 dapat diketahui bahwa nilai  $D$  sebesar 0,164 dimana  $D < D_{0,05;6}$  atau  $p\text{-value} \geq \alpha$  ( $0,999 \geq 0,05$ ) yang artinya  $H_0$  diterima, sehingga data kasus sambaran petir kota Pasuruan berdistribusi Poisson.

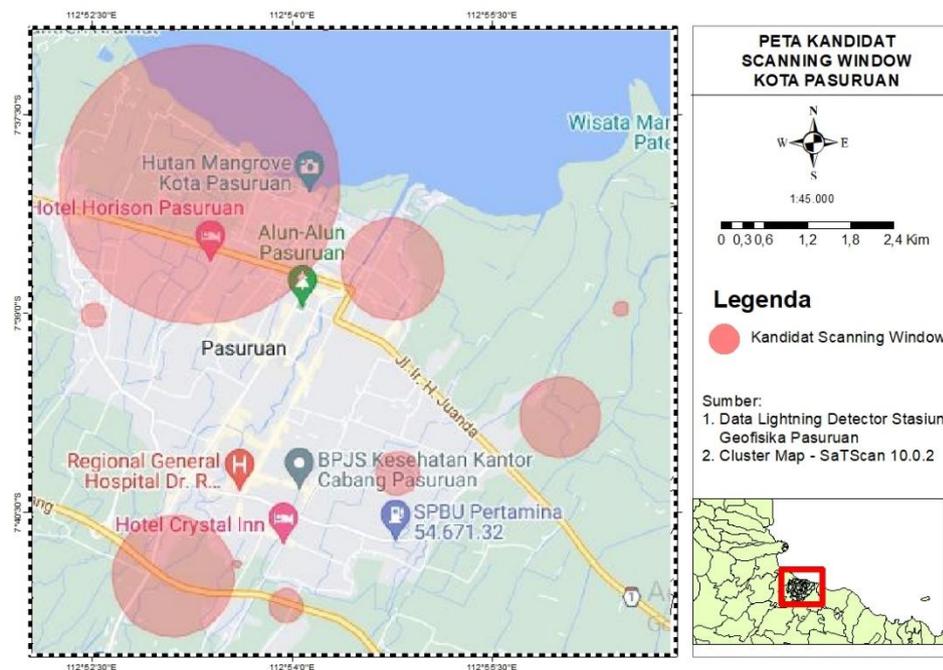
### 4.4 Pendeteksian Daerah Rawan Sambaran Petir

Pendeteksian daerah rawan sambaran petir ini bertujuan untuk mendapatkan deteksi daerah kasus kejadian sambaran petir dan interval waktu terjadinya kasus sambaran petir yang memiliki nilai lebih tinggi dari daerah dan waktu lainnya secara signifikan. Pendeteksian daerah rawan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* SaTScan versi 10.0.2. Langkah selanjtnya dalam mencari daerah rawan sambaran petir terlebih dulu akan dilakukan dengan pengukuran jarak antar titik sub wilayah yang dilampirkan pada Lampiran 2.

#### 4.4.1 *Scanning Window* Sambaran Petir

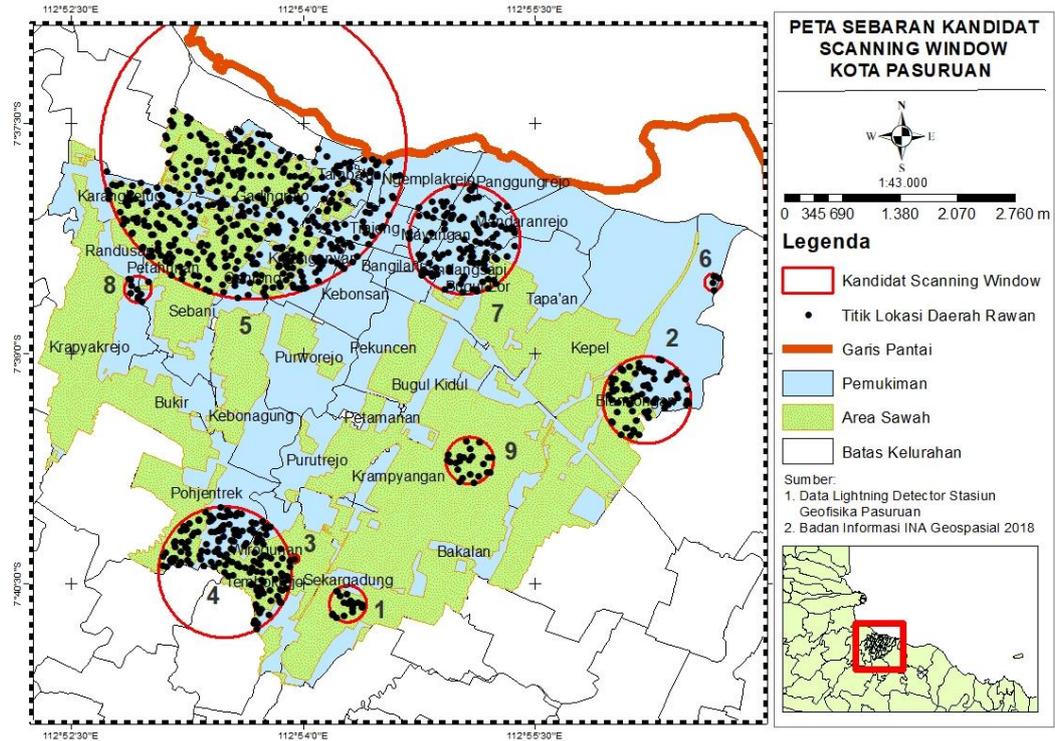
Penentuan kandidat daerah rawan sambaran petir dilihat dari *scanning window* yang terbentuk. Untuk memudahkan pembentukan *scanning window* serta proses uji hipotesis maka digunakan *software* SaTScan. Perolehan hasil

*output* dapat dilihat pada Lampiran 2 dan didapatkan beberapa daerah yang menjadi kandidat daerah rawan kasus sambaran petir di kota Pasuruan yang bisa dilihat pada gambar 4.5 dan 4.6 dibawah ini:



**Gambar 4.5** *Scanning Window* yang Menjadi Kandidat Daerah Rawan Petir

Pada gambar 4.5 *scanning window* yang terbentuk akan menjadi kandidat daerah rawan sambaran petir di kota Pasuruan dengan total sembilan *scanning window* yang terbentuk. *Scanning window* yang terbentuk ini akan dilakukan pengujian hipotesis untuk menguji bahwa peluang kejadian di dalam *scanning window* lebih tinggi di dibandingkan dengan peluang kejadian di luar *scanning window* yang terbentuk. Untuk memperjelas *scanning window* yang terbentuk akan dipetakan menggunakan ArcGis dengan hasil sebagai berikut:



**Gambar 4.6** Kandidat Daerah Rawan dengan Titik Sambaran Petir

Berdasarkan gambar 4.6 diketahui bahwa terbentuk sembilan *cluster* dengan 863 *cluster locations* dari total 3726 kasus sambaran petir yang menyebar di sekitar kelurahan kota Pasuruan. Pada *cluster* ke 1 sampai 9 sambaran petir terjadi pada sebagian area sawah dan sebagian area pemukiman. Sedangkan pada *cluster* ke 2, *cluster* ke 5, *cluster* ke 7 dan *cluster* ke 8 merupakan *cluster* yang terjadi pada area yang dekat dengan pantai.

#### 4.4.2 Kandidat Daerah Rawan Sambaran Petir di Kota Pasuruan

Penentuan daerah rawan sambaran petir menggunakan analisis *restropective space time permutation*. Penentuan daerah atau kelurahan yang menjadi *cluster* menggunakan bantuan *software* ArcGis dapat dilihat pada Lampiran 3. Diperoleh hasil dari kandidat daerah rawan sambaran petir yang ditunjukkan tabel 4.5 dibawah ini:

**Tabel 4.5** Kandidat Daerah Rawan yang Terdeteksi

<i>Scanning Window</i>	Nama Kelurahan	<i>Time Frame</i>	<i>Radius Cluster</i>	Jumlah Kasus	Klasifikasi
1	Sekargadung	1/5/2021 sampai 31/7/2021	0,22 km	5	Area Sawah
2	Blandongan Kepel	1/9/2021 sampai 30/9/2021	0,53 km	5	Dekat Pantai
3	Tembokrejo	1/10/2021 sampai 31/10/2021	0,049 km	2	Area Sawah
4	Pohjentrek Wigunan Tembokrejo	1/1/2021 sampai 31/1/2021	0,79 km	30	Sebagian Area Sawah
5	Gadingrejo Karangketug Tamba'an Trajan Karanganyar Gentong Petahunan Randusari Ngemplakrejo	1/11/2021 sampai 30/11/2021	1,82 km	58	Dekat Pantai
6	Blandongan	1/6/2021 sampai 30/6/2021	0,10 km	2	Dekat Pantai
7	Mandaranrejo Panggungrejo Bugul Lor Mayangan Ngemplakrejo Kandang sapi Tapa'an	1/6/2021 sampai 30/11/2021	0,66 km	24	Dekat Pantai
8	Petahunan Randusari	1/10/2021 sampai 31/10/2021	0,16 km	2	Dekat Pantai
9	Kepel Blandongan	1/2/2021 sampai 28/2/2021	0,28 km	16	Area Sawah

Pada tabel 4.5 didapatkan sembilan *cluster* yang menjadi kumpulan daerah rawan kasus sambaran petir. Klasifikasi dibagi berdasarkan karakteristik daerah yang terbentuk dalam *scanning window* yang dapat dilihat pada gambar 4.6. Berikut adalah pemaparan kandidat *scanning window* yang terbentuk:

1. Daerah rawan dengan *scanning window* pertama berpusat di kelurahan Sekargadung. Pada *scanning window* pertama petir menyambar pada area sawah dan daerah ini tidak cukup dekat dengan pantai, hal ini dikarenakan proses penguapan yang tinggi dan hembusan angin bergerak membawa uap air menuju ke dataran yang lebih tinggi atau yang jauh dari pantai.
2. Daerah rawan dengan *scanning window* kedua berpusat di kelurahan Blandongan. Daerah rawan ini memiliki klasifikasi yang dekat dengan pantai. Sambaran yang tinggi disebabkan karena didekat pantai mengalami proses penguapan yang tinggi sehingga mudah terbentuknya awan *cumulonimbus* yang menyebabkan petir terjadi.
3. Daerah rawan dengan *scanning window* ketiga berpusat di kelurahan Tembokrejo. *Scanning window* ketiga pada kelurahan Tembokrejo terjadi pada area sawah, hal ini dikarenakan proses penguapan yang tinggi dan hembusan angin bergerak membawa uap air menuju ke dataran yang lebih tinggi atau yang jauh dari pantai.
4. Daerah rawan dengan *scanning window* ke empat berpusat di kelurahan Pohjentrek yang meliputi kelurahan Pohjentrek dan Tembok rejo. Pada *scanning window* keempat petir menyambar pada sebagian area sawah dan sebagian pemukiman serta daerah ini tidak cukup dekat dengan pantai. Sambaran petir yang terjadi pada sebagian pemukiman diakibatkan oleh

banyaknya bangunan yang tinggi dan terdapat tower BTS yang dapat memicu sambaran petir.

5. Daerah rawan dengan *scanning window* ke lima berpusat di kelurahan Gadingrejo yang meliputi kelurahan Karangketug, Tamba'an, Trajan, Karanganyar, Gentong, Petahunan, dan Randusari. Pada *scanning window* kelima petir menyambar pada sebagian area yang dekat dengan pantai. Sambaran yang tinggi disebabkan karena didekat pantai mengalami proses penguapan yang tinggi sehingga mudah terbentuknya awan *cumulonimbus* yang menyebabkan petir terjadi.
6. Daerah rawan dengan *scanning window* ke enam berpusat di kelurahan Blandongan. Pada *scanning window* keenam petir menyambar pada area yang dekat dengan pantai. Sambaran yang tinggi disebabkan karena didekat pantai mengalami proses penguapan yang tinggi sehingga mudah terbentuknya awan *cumulonimbus* yang menyebabkan petir terjadi.
7. Daerah rawan dengan *scanning window* ke tujuh berpusat di kelurahan Mandanrejo yang meliputi kelurahan Panggungrejo, Bugul Lor, Mayangan, Ngemplakrejo, dan Kandang sapi. Pada *scanning window* ketujuh petir menyambar pada area yang dekat dengan pantai. Sambaran yang tinggi disebabkan karena didekat pantai mengalami proses penguapan yang tinggi sehingga mudah terbentuknya awan *cumulonimbus* yang menyebabkan petir terjadi.
8. Daerah rawan dengan *scanning window* ke delapan berpusat di kelurahan Petahunan. Pada *scanning window* ini petir menyambar pada sebagian area yang dekat dengan pantai. Sambaran yang tinggi disebabkan karena

didekat pantai mengalami proses penguapan yang tinggi sehingga mudah terbentuknya awan *cumulonimbus* yang menyebabkan petir terjadi.

9. Daerah rawan dengan *scanning window* ke sembilan berpusat di kelurahan Kepel. Pada *scanning window* ini petir menyambar pada area sawah, hal ini dikarenakan proses penguapan yang tinggi dan hembusan angin bergerak membawa uap air menuju ke dataran yang lebih tinggi atau yang jauh dari pantai.

Pada hasil klasifikasi *scanning window* di atas didapatkan bahwa petir paling banyak menyambar pada area sawah. Sehingga salah satu upaya jika terdapat hujan petir pada area sawah dan area dekat pantai adalah segera menjauh dari area sawah dan area pantai serta segera mencari tempat berteduh dan tidak berlindung dibawah pohon.

#### **4.4.3 Pengujian Hipotesis *Monte Carlo***

Setelah di dapatkan hasil *scanning window* dengan sembilan *cluster* daerah rawan kasus sambaran petir akan dilakukan pengujian hipotesis *Monte Carlo*. Pengujian hipotesis *Monte Carlo* digunakan untuk mengetahui apakah *scanning window* yang terbentuk merupakan daerah rawan petir atau bukan.

Pengujian dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut:

$H_0 : p = q$  (*Scanning window* bukan daerah rawan sambaran petir)

$H_1 : p > q$  (*Scanning window* merupakan daerah rawan sambaran petir)

Pengujian dilakukan menggunakan SaTScan 10.0.2 dengan hasil pengujian hipotesis *scanning window* dapat dilihat pada tabel 4.6 sebagai berikut:

**Tabel 4.6** Hasil Proses *Scanning Window*

<i>Scanning Window</i>	Nama Kelurahan	<i>P-Value</i>	Keterangan
1	Sekargadung	0,048	Signifikan
2	Blandongan Kepel	0,085	Tidak Signifikan
3	Tembokrejo	0,164	Tidak Signifikan
4	Pohjentrek Wigunan Tembokrejo	0,737	Tidak Signifikan
5	Karangketug Gadingrejo Tamba'an Trajan Karanganyar Gentong Petahunan Randusari	0,767	Tidak Signifikan
6	Blandongan	0,972	Tidak Signifikan
7	Panggungrejo Mandaranrejo Bugul Lor Mayangan Ngemplakrejo Kandang sapi	0,997	Tidak Signifikan
8	Petahunan Randusari	0,997	Tidak Signifikan
9	Kepel Blandongan	0,998	Tidak Signifikan

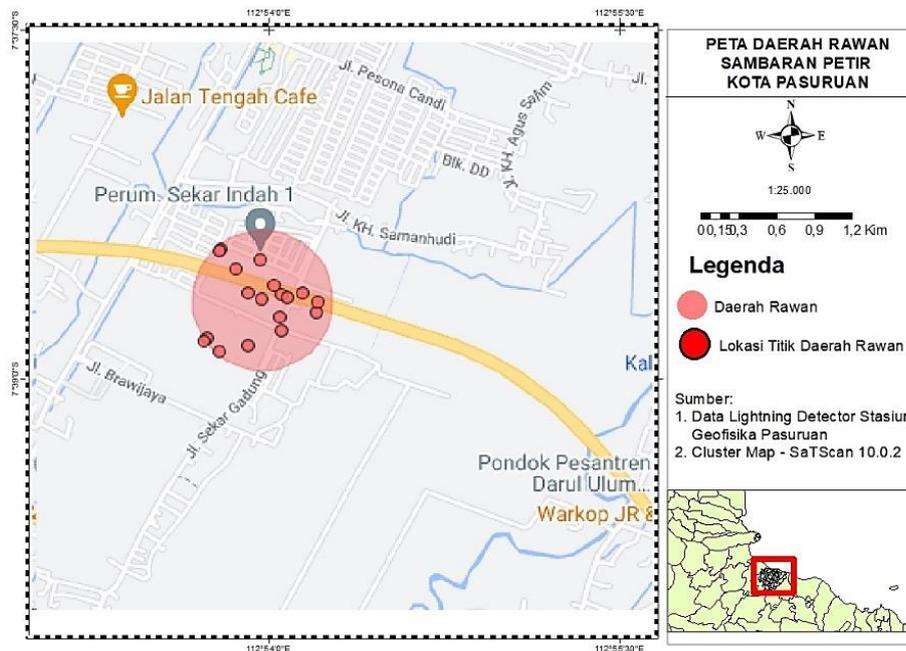
Berdasarkan tabel 4.6 *cluster* dari *scanning window* yang terbentuk dikatakan daerah rawan apabila signifikan dengan *p-value* nya  $< 0,05$ . Pada tabel 4.4 diketahui hanya *scanning window* pertama yang memiliki *p-value*  $0,048 < 0,05$ . Pada *scanning window* ke dua sampai *scanning window* ke sembilan memiliki *p-value*  $> 0,05$  hal ini berarti tolak  $H_0$  yang artinya bahwa tidak ada perbedaan resiko terjadinya sambaran petir di dalam *scanning window* dengan di luar *scanning window*. Sehingga daerah rawan kasus sambaran petir berada pada kelurahan Sekargadung.

**Tabel 4.7** Nilai LRT Daerah Rawan Sambaran Petir

<i>Scanning Window</i>	Nama Kelurahan	LRT	<i>Time Frame</i>	Jumlah Kasus
1	Sekargadung	11,462725	1/5/2021 sampai 31/7/2021	5

Berdasarkan tabel 4.7 kelurahan Sekargadung memiliki nilai LRT (*Likelihood Ratio Test*) tertinggi sebesar 11,462725. Sehingga kelurahan Sekargadung terdapat pengelompokan kasus sambaran petir atau daerah rawan dengan jangka waktu tanggal 1 Mei 2021 sampai tanggal 31 Juli 2021 sebanyak 5 kasus. Berdasarkan karakteristik petir, kelurahan Blandongan menjadi daerah dengan jumlah sambaran terbanyak pada bulan Desember 2021. Tetapi, hasil analisis yang diperoleh pada penelitian ini tidak menjadikan kelurahan Blandongan sebagai daerah rawan. Hal ini dikarenakan yang menjadi daerah rawan adalah yang memiliki *radius cluster* terdekat dengan titik pusat dengan mempertimbangan lokasi dan waktu kejadian. Artinya, yang menjadi daerah rawan adalah daerah yang memiliki sambaran yang tidak merata berdasarkan lokasi maupun waktu kejadian sepanjang tahun 2021.

Kelurahan Blandongan memiliki 417 sambaran cenderung tersebar di setiap area kelurahan Blandongan, sedangkan kelurahan Sekargadung memiliki 226 sambaran dengan intensitas kejadian yang cenderung memusat di satu area dan waktu. Kelurahan Sekargadung merupakan daerah dengan area sawah yang dominan dari pada area pemukimannya, hal ini mengakibatkan kelurahan sekargadung menjadi daerah rawan karena lokasi titik sambarannya memusat pada satu area sawah. Sehingga kelurahan Sekargadung disebut *cluster* utama yang menjadi daerah rawan sambaran petir di kota Pasuruan. Pemetaan daerah rawan sambaran petir dapat dilihat pada gambar 4.7:



**Gambar 4.7** Pemetaan Daerah Rawan Sambaran Petir Kota Pasuruan

#### 4.5 Kajian Petir Dalam Islam

Fenomena petir membuat manusia memiliki rasa takut akan dampak negatif yang disebabkan oleh sambaran petir. Ketakutan tersebut membuat manusia melakukan upaya untuk menghindari dampak negatif dari sambaran petir. Metode *space time permutation scan statistic* ini dapat di gunakan untuk mendeteksi daerah

rawan terjadinya sambaran petir. Sehingga dapat meminimalisir ketakutan yang dimiliki manusia dengan beberapa hal seperti tidak keluar rumah saat terjadi petir, tidak berteduh dibawah pohon, tidak berada di tanah lapang, dan lain-lain. Namun selain itu sebagai umat-Nya harus bertawakkal meminta perlindungan-Nya dan senantiasa membaca doa ketika terdengar petir. Hadist yang diriwayatkan oleh Tirmidzi dalam *Mustadrak* dari Abdullah bin Amr RA. bahwa Rasulullah SAW. bila mendengar petir berdoa.

اللَّهُمَّ، لَا تَقْتُلْنَا بِغَضَبِكَ، وَلَا تُهْلِكْنَا بِعَذَابِكَ، وَعَافِنَا قَبْلَ ذَلِكَ

Artinya: “Ya Allah, jangan Engkau bunuh kami karena murka-Mu, dan jangan Engkau musnahkan kami dengan azabMu, dan ampunilah kami sebelum itu terjadi.”

Dari hadits tentang ajaran doa di atas, al-Quran mengajar lebih mendalam lagi. Bukan hanya rasa takut, tetapi ada secercah harapan dalam petir. Hanya orang kafir yang menutup telinganya karena takut mati mendengar suara petir.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Karakteristik sambaran petir CG di kota Pasuruan dengan kasus bulanan dapat disimpulkan bahwa jumlah sambaran petir terbanyak terjadi pada bulan desember 2021 dengan total 882 sambaran. Jumlah sambaran petir CG- dan CG+ tertinggi berada pada kelurahan Blandongan dan terjadi pada sebagian area sawah. Sambaran petir yang tinggi pada area sawah memungkinkan terjadinya dampak negatif dari sambaran petir seperti pohon tumbang, merusak area persawahan, dan dapat menyambar manusia yang berada di sekitar perawahan.
2. Pendeteksian daerah rawan sambaran petir menggunakan metode *space time permutation scan statistic* dilakukan dengan model peluang Poisson. Daerah rawan sambaran petir CG dapat ditentukan melalui pengujian hipotesis *Monte Carlo* dengan melihat nilai *p-value* dan nilai LRT (*Likelihood Ratio Test*) tertinggi. Pada penelitian ini diperoleh daerah rawan atau *cluster* utama sambaran petir CG yang berada pada kelurahan Sekargadung kota Pasuruan dengan nilai LRT sebesar 11,462725 yang memiliki 5 kasus sambaran dengan jangka waktu 1 Mei 2021 sampai 31 Juli 2021.

## 5.2 Saran

Saran untuk peneliti selanjutnya diharapkan agar dapat menggunakan metode *space time scan statistic* dengan model peluang lain seperti model Poisson kontinu, model bernouli, model multinomial, model eksponensial, maupun model normal, dan dapat menggunakan seasonal analisis sehingga dapat diketahui pola seasonalnya serta menerapkan dalam berbagai bidang topik penelitian sehingga dapat memberikan banyak manfaat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, S. O. (2015). Karakteristik Preliminary Breakdown Petir Terminologi Breakdown-Leader (BL) Sebelum Sambaran Negatif Pertama. *Teknik Elektro*.
- Bain, L. J., & Engelhardt, M. (1993). Introduction to Probability and Mathematical Statistics. In *Biometrics* (Vol. 49, Nomor 2). <https://doi.org/10.2307/2532587>
- BPS. (2020). *Kota Pasuruan*. <https://pasuruankota.bps.go.id/> diakses pada tanggal 14 Maret 2022 pukul 21:55 WIB
- Cooray, V. (2014). The lightning flash: 2nd edition. In *The Lightning Flash*. <https://doi.org/10.1049/PBPO069E>
- Fahamsyah, M. (2020). *Metode DBSCAN Clustering untuk Analisis Pola Penyebaran Petir di Pasuruan* (Vol. 2507, Nomor February).
- Departemen Agama RI. (2005). *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Jakarta: CV Darus Sunnah.
- Husni, M. (2002). Mengenal Bahaya Petir. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol 3. No.
- Jung, I., Kulldorff, M., & Klassen, A. C. (2007). A Spatial Scan Statistic for Ordinal Data. *Harvard Medical School and Harvard Pilgrim Health Care, Statist. M*, 4267–4278.
- Kulldorff, M. (1997). A Spatial Scan Statistic. *Theory Meth*, 26(6), 1848–1848. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-17885-1\\_101147](https://doi.org/10.1007/978-3-319-17885-1_101147)
- Kulldorff, M. (2021). *SaTScan User Guide 10.0*. July.
- Kulldorff, M., Heffernan, R., Hartman, J., Assunção, R., & Mostashari, F. (2005). A space-time permutation scan statistic for disease outbreak detection. *PLoS Medicine*, 2(3), 0216–0224. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020059>
- Kurniati, E., & Rahardjo, N. (2015). Evaluasi Metode Klasifikasi dalam Pembuatan Peta Kepadatan Penduduk DIY dengan Permukaan Statistik dan Uji Proporsi. *Bumi Indonesia*.
- Maryana, Widyaningsih, Y., & Lestari, D. (2012). Pendeteksian hotspot dengan Space Time Scan Statistics pada Kesehatan Bayi dan Balita di Kota Depok. *Prosiding Seminar Nasional Solusi Matematika Informatika dan Aplikasinya IV*, 4(4).

- Muhammad, A., & E.M, M. A. G. (2003a). *Lubaabut Tafsir Min Ibni Katsir jilid 4* (M. Y. Harun (ed.)). Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Muhammad, A., & E.M, M. A. G. (2003b). *Lubaabut Tafsir Min Ibni Katsir jilid 8* (M. Y. Harun (ed.)). Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Omodior, O. (2021). A space-time permutation scan statistic for evaluating county-level tickborne disease clusters in indiana, 2009-2016. *Health Security, 19*(1), 108–115. <https://doi.org/10.1089/hs.2019.0159>
- Riqmawatin, S. R., & Intan, P. K. (2020). Analisa Pemetaan Daerah Rawan Sambaran Petir Di Wilayah Kabupaten Pasuruan Dengan Menggunakan Metode Simple Additive Weighting. *Core.Ac.Uk, 1*(1), 198–210.
- Samsuri. (2010). Metode Dakwah Ali Bin Abi Thalib. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Septiadi, D., Hadi, S., & Tjasyono, B. (2011). Karakteristik Petir Dari Awan Ke Bumi Dan Hubungannya Dengan Curah Hujan. *Karakteristik Petir Dari Awan Ke Bumi Dan Hubungannya Dengan Curah Hujan, 129–138*.
- Sismetha, R., Aritonang, M., & Kiftiah, M. (2017). Analisis Model Distribusi Jumlah Kedatangan Dan Waktu Pelayanan Pasien Instalasi Rawat Jalan Rumah Sakit Ibu Dan Anak (Rsia) Anugerah Bunda Khatulistiwa Pontianak. *Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya (Bimaster), 6*(01), 51–60.
- Takahashi, K., Kulldorff, M., Tango, T., & Yih, K. (2008). A flexibly shaped space-time scan statistic for disease outbreak detection and monitoring. *International Journal of Health Geographics, 7*, 1–14. 7-14
- Viemeister, P. E. (1972). *The Lightning Book* (Vol. 4, Nomor 1).
- Waha, C. K., Rindengan, A. J., & Manurung, T. (2019). Model Distribusi Data Klaim Asuransi Mobil untuk Menentukan Premi Murni. *d'CARTESIAN, 108*.
- Wahjudi, D. (2014). Mengatasi Bahaya Petir dan Proteksi Petir Gedung Bertingkat. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik, VOL.15 NO.*(1), 58–61.
- Walpole, R. E. (1993). *Pengantar Statistika*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Yakin, H., Aidid, M. K., & Nusrang, M. (2019). Space-Time Permutational Scan Statistics untuk Mendeteksi Hotspot Kejadian Gempa Bumi di Sulawesi Tengah. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its application on Teaching and Research, 1*(3), 77. <https://doi.org/10.35580/variansiunm14623>

## LAMPIRAN

**Lampiran 1** Tabel Data Spasial Sambaran Petir Kelurahan Kota Pasuruan

No.	Kelurahan	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
1	Kepel	-7,640581	112,934907
2	Blandongan	-7,653906	112,932884
3	Tapaan	-7,639477	112,923146
4	Bakalan	-7,669730	112,916347
5	Krampyangan	-7,660926	112,911231
6	Bugul Kidul	-7,651527	112,913016
7	Karangketug	-7,630707	112,888864
8	Gentong	-7,642451	112,896496
9	Sebani	-7,639953	112,887930
10	Petahunan	-7,642094	112,885908
11	Bukir	-7,654144	112,888508
12	Randusari	-7,636774	112,880417
13	Krapyakrejo	-7,648519	112,874248
14	Gadingrejo	-7,632457	112,894712
15	Bangilan	-7,640436	112,908990
16	Bugul Lor	-7,643520	112,920583
17	Kandang sapi	-7,642264	112,912188
18	Karanganyar	-7,637924	112,901509
19	Kebonsari	-7,641578	112,905221
20	Mandanrejo	-7,636267	112,921211
21	Mayangan	-7,635468	112,912303
22	Ngemplak rejo	-7,633812	112,914987
23	Panggungrejo	-7,631014	112,920812
24	Pekuncen	-7,646204	112,912474
25	Petamanan	-7,655334	112,905521
26	Tamba'an	-7,629586	112,908134
27	Trajeng	-7,635925	112,908077
28	Kebonagung	-7,651408	112,892077
29	Pohjentrek	-7,660093	112,888389
30	Purutrejo	-7,658308	112,901238
31	Purworejo	-7,649623	112,897074
32	Sekargadung	-7,669849	112,905759
33	Tembokrejo	-7,668064	112,900762
34	Wirogunan	-7,669730	112,898263

## Lampiran 2 Hasil *Running* SaTScan

---

SaTScan v10.0.2

---

Program run on: Sat Mar 26 08:29:41 2022  
 |  
 Retrospective Space-Time analysis  
 scanning for clusters with high rates  
 using the Space-Time Permutation model.

---

### SUMMARY OF DATA

Study period.....: 2021/1/1 to 2021/12/31  
 Number of locations.....: 3726  
 Total number of cases.....: 3726

---

### CLUSTERS DETECTED

1.Location IDs included.: location2589, location1140, location2132, location178, location124,  
 location87, location1143, location751, location558, location3213,  
 location3548, location1156, location1159, location181, location507,  
 location727, location79, location1137  
 Coordinates / radius...: (7.677156 S, 112.904823 E) / 0.22 km  
 Time frame.....: 2021/5/1 to 2021/7/31  
 Number of cases.....: 5  
 Expected cases.....: 0.19  
 Observed / expected...: 25.87  
 Test statistic.....: 11.462725  
 P-value.....: 0.048

2.Location IDs included.: location2527, location326, location1846, location3020, location2131,  
 location1558, location3451, location1282, location2864, location355,  
 location1132, location3001, location2542, location1911, location827,  
 location799, location3371, location271, location89, location2204,  
 location2843, location2998, location798, location3674, location1571,  
 location1233, location239, location469, location346, location3104,  
 location3264, location1298, location365, location2556, location6,  
 location857, location970, location1138, location3722, location2576,  
 location470, location556, location3048, location1673, location2930,  
 location169, location1994, location1445, location2889, location374,  
 location2103, location1164, location3143, location2073, location2451,  
 location2557, location88, location3453, location1134, location2264,  
 location2010, location2524, location21, location1446, location1448,  
 location1575, location1295, location489, location493, location1743,  
 location1131  
 Coordinates / radius...: (7.655021 S, 112.937101 E) / 0.53 km  
 Time frame.....: 2021/9/1 to 2021/9/30  
 Number of cases.....: 5  
 Expected cases.....: 0.23  
 Observed / expected...: 21.87  
 Test statistic.....: 10.656430  
 P-value.....: 0.085

3.Location IDs included.: location1564, location1565  
 Coordinates / radius...: (7.672255 S, 112.899103 E) / 0.049 km  
 Time frame.....: 2021/10/1 to 2021/10/31  
 Number of cases.....: 2  
 Expected cases.....: 0.0048  
 Observed / expected...: 414.00  
 Test statistic.....: 10.057097  
 P-value.....: 0.164

4.Location IDs included.: location984, location3702, location2038, location2435, location1250,  
 location78, location1926, location2263, location1574, location672,  
 location2586, location1769, location2945, location892, location116,  
 location1724, location2297, location2726, location3113, location2981,  
 location1311, location2743, location532, location3314, location1858,  
 location1293, location2521, location1116, location3422, location339.

---

location585, location1095, location194, location983, location2514,  
location1115, location1387, location1842, location1576, location965,  
location3329, location2069, location1929, location2695, location583,  
location1415, location586, location1768, location925, location3613,  
location2853, location142, location2259, location109, location2096,  
location1016, location112, location1903, location2426, location390,  
location3286, location231, location950, location2256, location2262,  
location3249, location162, location294, location297, location1117,  
location2201, location1841, location1390, location1080, location687,  
location2039, location193, location1487, location1039, location1947,  
location222, location1348, location587, location3420, location1128,  
location982, location740, location391, location2947, location3624,  
location44, location2776, location393, location2071, location111,  
location1727, location108, location1388, location1677, location966,  
location584, location3115, location1264, location3156, location2189,  
location3540, location1974, location1371, location2744, location1055,  
location191, location285, location2991, location1627, location2534,  
location1096, location537, location307, location1114, location2852,  
location299, location1737, location1040, location1413, location2784,  
location2705, location704, location1895, location1715, location893,  
location686, location2192, location2700, location1014, location1759,  
location1950, location302, location1225, location744, location2384,  
location1213, location3412, location2779, location3466, location1758,  
location1369, location164, location312, location2185, location665,  
location2309, location1012, location311, location3370, location2004,  
location2068, location1189, location1248, location115, location2197,  
location1106, location1460, location1781, location3141, location2949,  
location3591, location542, location2124, location336

Coordinates / radius...: (7.673696 S, 112.891549 E) / 0.79 km  
Time frame.....: 2021/1/1 to 2021/1/31  
Number of cases.....: 30  
Expected cases.....: 12.93  
Observed / expected...: 2.32  
Test statistic.....: 8.223045  
P-value.....: 0.737

5. Location IDs included.: location3368, location520, location2594, location2166, location2468,  
location40, location2823, location569, location1168, location736,  
location98, location2303, location39, location2079, location1344,  
location793, location1346, location3716, location2842, location99,  
location317, location794, location1601, location1964, location901,  
location1756, location916, location3618, location3152, location2831,  
location2420, location2956, location1586, location3031, location2495,  
location1889, location674, location1245, location2569, location2239,  
location3694, location1535, location2640, location385, location2675,  
location3726, location2711, location1051, location920, location2585,  
location430, location814, location2827, location2969, location519,  
location2508, location3493, location886, location1345, location1954,  
location2100, location918, location2932, location2968, location417,  
location3656, location464, location72, location71, location310,  
location452, location3689, location2500, location3312, location386,  
location2637, location2678, location12, location1009, location463,  
location1107, location2051, location1362, location1971, location1924,  
location3016, location1653, location3231, location2304, location1543,  
location840, location3135, location948, location3631, location1108,  
location2674, location1370, location2080, location2116, location3508,  
location2497, location2671, location2829, location3661, location2161,  
location2020, location419, location1833, location3372, location2933,  
location1422, location915, location2243, location1805, location3686,  
location2825, location1550, location1074, location1888, location3202,  
location2065, location1773, location887, location2364, location3559,  
location3361, location100, location227, location3709, location3676,  
location3181, location101, location2366, location2494, location1317,  
location2532, location388, location3440, location3402, location2433,  
location3418, location1234, location424, location1800, location2245,  
location1335, location399, location2898, location1103, location839,  
location3683, location483, location3194, location2935, location2687,  
location3218, location2593, location2028, location3587, location1697,  
location888, location427, location1073, location790, location1752,  
location1246, location1199, location1835, location3150, location2343,  
location3197, location2025, location1648, location2446, location1408.

---

Coordinates / radius...: (7.627690 S, 112.894621 E) / 1.82 km  
Time frame.....: 2021/11/1 to 2021/11/30  
Number of cases.....: 58  
Expected cases.....: 32.58  
Observed / expected...: 1.78  
Test statistic.....: 8.115702  
P-value.....: 0.767

6.Location IDs included.: location2479, location1583, location3520, location1152  
Coordinates / radius...: (7.642253 S, 112.944242 E) / 0.10 km  
Time frame.....: 2021/6/1 to 2021/6/30  
Number of cases.....: 2  
Expected cases.....: 0.019  
Observed / expected...: 103.50  
Test statistic.....: 7.298993  
P-value.....: 0.972

7.Location IDs included.: location2620, location3050, location1119, location2918, location2526,  
location2482, location2485, location641, location2959, location2544,  
location2539, location1418, location2126, location3715, location2629,  
location476, location3204, location3052, location1585, location1061,  
location1986, location2896, location3479, location3029, location2601,  
location1869, location2393, location2912, location1868, location90,  
location2128, location2614, location3283, location95, location1407,  
location91, location1568, location3627, location1400, location3636,  
location1155, location1182, location3534, location305, location3308,  
location3268, location1566, location2894, location789, location2340,  
location2895, location2224, location83, location2283, location635,  
location1045, location2460, location2404, location2280, location3560,  
location3198, location2631, location1342, location908, location2064,  
location1060, location545, location3199, location825, location2615,  
location904, location548, location1959, location2536, location1206,  
location547, location1141, location3671, location2837, location2862,  
location1772, location3302, location2391, location3600, location2646,  
location930, location3698, location2360, location3207, location534,  
location3721, location1427, location2060, location378, location2584,

---

location1606, location94, location3626, location3576, location1956,  
location3691, location3291, location3240, location3082, location3531,  
location909, location649, location234, location1567, location3710,  
location3307, location1149

Coordinates / radius...: (7.637578 S, 112.917402 E) / 0.66 km  
Time frame.....: 2021/6/1 to 2021/11/30  
Number of cases.....: 24  
Expected cases.....: 10.11  
Observed / expected...: 2.37  
Test statistic.....: 6.883153  
P-value.....: 0.997

8.Location IDs included.: location269, location3296, location2972, location1970, location2302,  
location1785, location3311, location3369, location1130, location1129  
Coordinates / radius...: (7.643006 S, 112.882150 E) / 0.16 km  
Time frame.....: 2021/10/1 to 2021/10/31  
Number of cases.....: 2  
Expected cases.....: 0.024  
Observed / expected...: 82.80  
Test statistic.....: 6.857535  
P-value.....: 0.997

9.Location IDs included.: location836, location2032, location2402, location1672, location2551,  
location482, location1827, location357, location174, location2053,  
location803, location354, location629, location2714, location913,  
location643, location639, location445, location36, location1788,  
location802, location816, location224, location405  
Coordinates / radius...: (7.661594 S, 112.917972 E) / 0.28 km  
Time frame.....: 2021/2/1 to 2021/2/28  
Number of cases.....: 16  
Expected cases.....: 5.42  
Observed / expected...: 2.95  
Test statistic.....: 6.748084  
P-value.....: 0.998

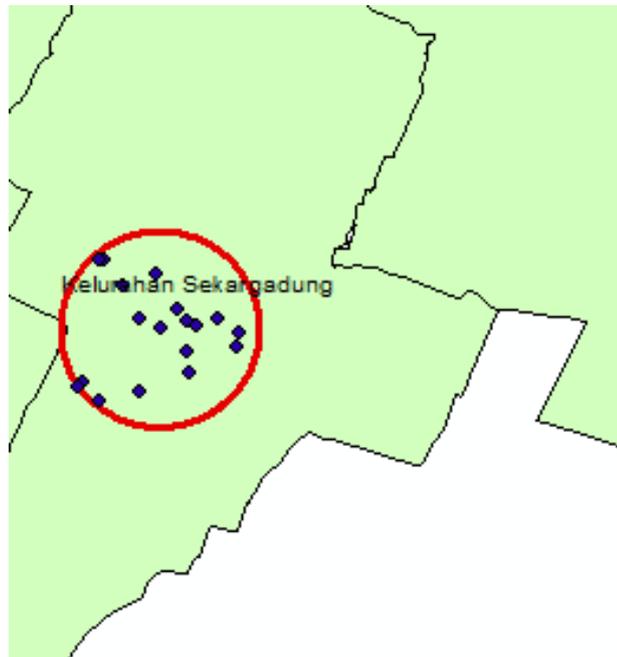
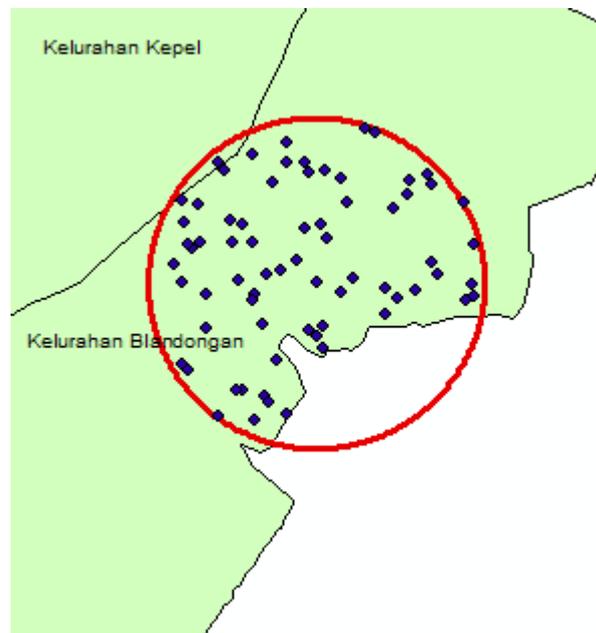
CLUSTER	LOC_ID	LATITUDE	LONGITUDE
1	location2589	-7.677156	112.904823
2	location2527	-7.655021	112.937101
3	location1564	-7.672255	112.899103
4	location984	-7.673696	112.891549
5	location3368	-7.627690	112.894621
6	location2479	-7.642253	112.944242
7	location2620	-7.637578	112.917402
8	location269	-7.643006	112.882150
9	location836	-7.661594	112.917972

RADIUS	START_DATE	END_DATE	NUMBER_LOC	TEST_STAT
0.22	2021/5/1	2021/7/31	18	11.462725
0.53	2021/9/1	2021/9/30	71	10.656430
0.049	2021/10/1	2021/10/31	2	10.057097
0.79	2021/1/1	2021/1/31	169	8.223045
1.82	2021/11/1	2021/11/30	448	8.115702
0.10	2021/6/1	2021/6/30	4	7.298993
0.66	2021/6/1	2021/11/30	117	6.883153
0.16	2021/10/1	2021/10/31	10	6.857535
0.28	2021/2/1	2021/2/28	24	6.748084

	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	Jarak (Km)
$S_1 - S_2$	112,94206670000	-7,65224373700	0,016229
$S_1 - S_3$	112,90697800000	-7,67205784200	0,025437
$S_1 - S_4$	112,92509530000	-7,66280238900	0,006289
$S_1 - S_5$	112,93397510000	-7,65633695300	0,008432
$S_1 - S_6$	112,88259580000	-7,63371718500	0,057428
$S_1 - S_7$	112,90231210000	-7,66453102500	0,028892
$S_1 - S_8$	112,90238930000	-7,66392225400	0,028816

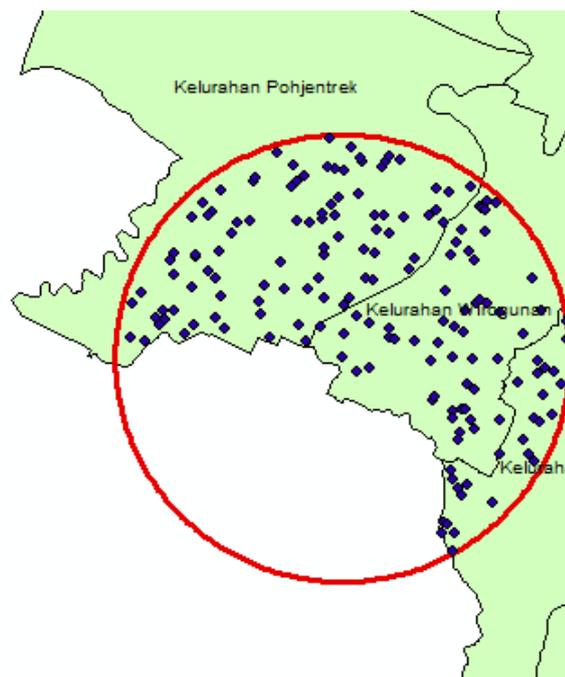
⋮  
⋮  
⋮  
⋮  
⋮

$S_{3724} - S_{3726}$	112,89834470000	-7,62867798700	0,033332
$S_{3725} - S_{3726}$	112,92926820000	-7,66475998200	0,047520

**Lampiran 3** Daerah Rawan di Kelurahan Masing-masing *Cluster*Gambar 1 *Cluster* ke-1Gambar 2 *Cluster* ke-2

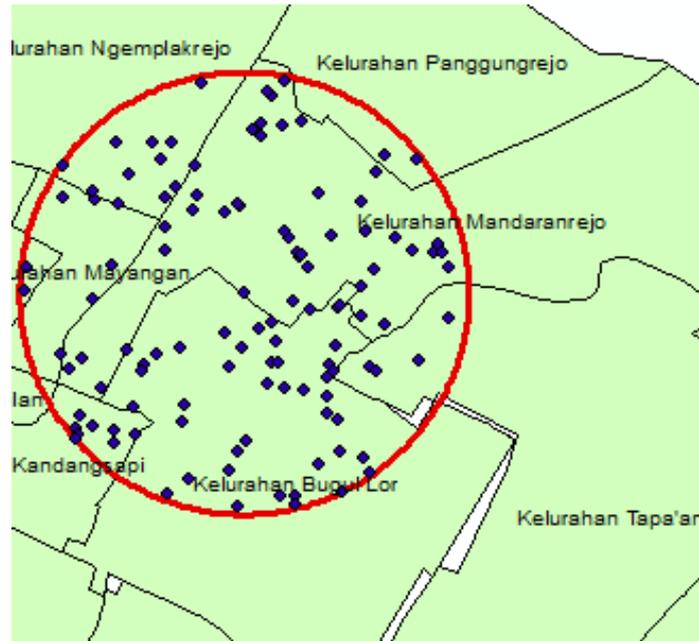


Gambar 3 Cluster ke-3

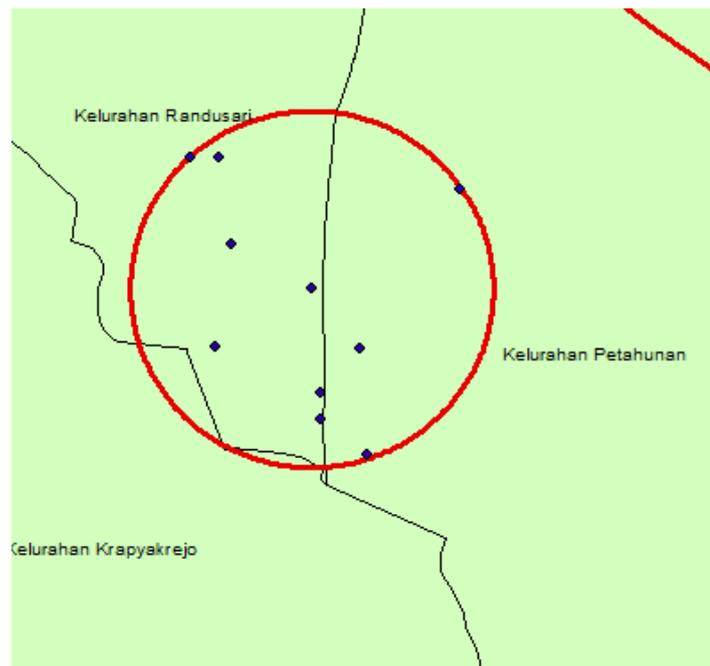


Gambar 4 Cluster ke-4

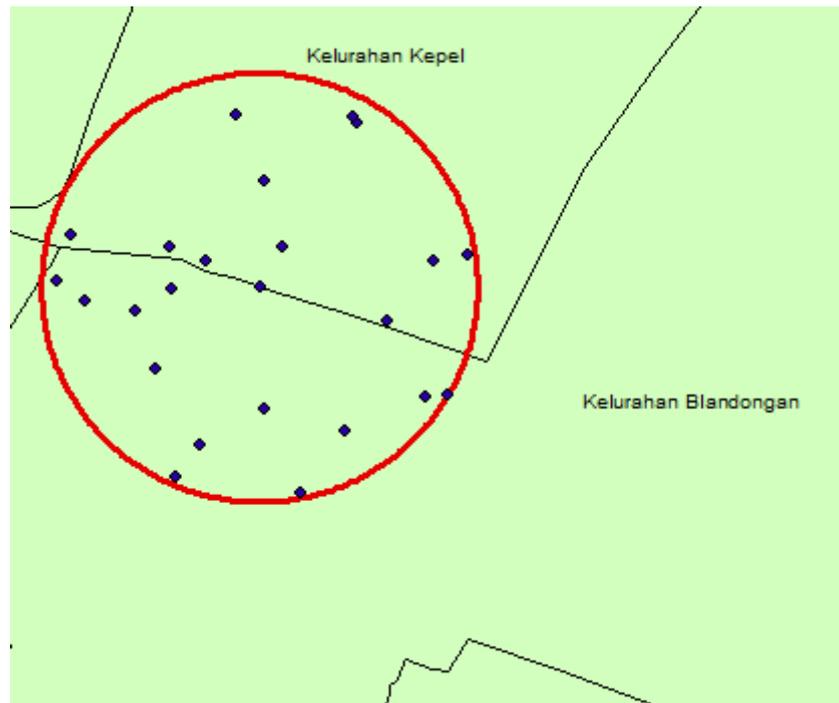




Gambar 7 Cluster ke-7



Gambar 8 Cluster ke-8



Gambar 9 *Cluster ke-9*

## RIWAYAT HIDUP



Rohmatul Hamidah, lahir di kabupaten Pasuruan pada tanggal 17 Mei 2000. Anak pertama dari 2 bersaudara dari pasangan Bapak Abdul Hamid dan Ibu Siti Romlah. Pendidikan sekolah dasar ditempuh di SDN 1 Tanjungarum dan lulus pada tahun 2012, setelah itu melanjutkan pendidikan SMPN 1 Sukorejo dan lulus pada tahun 2015. Kemudian melanjutkan pendidikan ke SMK F CMN Pandaan dan lulus tahun 2018. Selanjutnya menempuh kuliah di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi.

Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif pada organisasi intra kampus. Pada tahun pertama penulis aktif dalam kegiatan *Muharrakah* (penggerak) selama satu tahun periode dan mengikuti beberapa perlombaan yang diadakan Ma'had Sunan Ampel Al-Aly. Penulis juga aktif dalam organisasi DEMA FST (Dewan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi) selama dua tahun periode. Dalam kegiatan tersebut penulis menjadi ketua pelaksana dalam acara webinar nasional, podcast dan berbagai kegiatan kepanitiaan lainnya.



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Rohmatul Hamidah  
NIM : 18610037  
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika  
Judul Skripsi : Pendeteksian Daerah Rawan Sambaran Petir *Cloud to Ground (CG)*  
Menggunakan Metode *Space Time Permutation Scan Statistic* Di  
Kota Pasuruan  
Pembimbing I : Angga Dwi Mulyanto, M.Si  
Pembimbing II : Fachrur Rozi, M.Si

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	07 Februari 2022	Konsultasi Bab I	1.
2.	22 Februari 2022	Konsultasi Integrasi Agama	2.
3.	25 Februari 2022	Revisi Bab I	3.
4.	08 Maret 2022	ACC Integrasi Agama	4.
5.	11 Maret 2022	ACC Bab I	5.
6.	18 Maret 2022	Konsultasi Bab II, III	6.
7.	21 Maret 2022	Revisi Bab II, III	7.
8.	04 April 2022	ACC Bab I, II, III	8.
9.	13 April 2022	Konsultasi Bab IV, V	9.
10.	20 April 2022	Konsultasi Integrasi Agama	10.
11.	09 Mei 2022	Revisi Bab IV, V	11.
12.	25 Mei 2022	ACC Integrasi Agama	12.
13.	06 Juni 2022	ACC Bab I, II, III, IV, V	13.

Malang, 22 Agustus 2022

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc

NIP. 197411292000122005