

**PENERAPAN METODE *SPATIAL K'LUSTER ANALYSIS BY
TREE EDGE REMOVAL* (SKATER) UNTUK
PENGELOMPOKAN ZONA RAWAN KEKERINGAN
(STUDI KASUS: PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR)**

SKRIPSI

**OLEH
MAULANY AZ-ZAHRA
NIM. 220601110003**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2026**

**PENERAPAN METODE *SPATIAL K'LUSTER ANALYSIS BY
TREE EDGE REMOVAL (SKATER)* UNTUK
PENGELOMPOKAN ZONA RAWAN KEKERINGAN
(STUDI KASUS: PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR)**

SKRIPSI

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

**Oleh
Maulany Az-Zahra
NIM.220601110003**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2026**

**PENERAPAN METODE *SPATIAL K'LUSTER ANALYSIS BY
TREE EDGE REMOVAL (SKATER)* UNTUK
PENGELOMPOKAN ZONA RAWAN KEKERINGAN
(STUDI KASUS: PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR)**

SKRIPSI

**Oleh
Maulany Az-Zahra
NIM.220601110003**

Telah Disetujui untuk Diuji

Malang, 13 April 2026

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.
NIPPPK. 19870218 202321 1 018

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika



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

**PENERAPAN METODE *SPATIAL K'LUSTER ANALYSIS BY
TREE EDGE REMOVAL (SKATER)* UNTUK
PENGELOMPOKAN ZONA RAWAN KEKERINGAN
(STUDI KASUS: PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR)**

SKRIPSI

Oleh
Maulany Az-Zahra
NIM.220601110003

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Tanggal, 26 Mei 2026

Ketua Penguji : Abdul Aziz, M.Si.

Anggota Penguji 1 : Ria Dhea Layla Nur Karisma, M.Si.

Anggota Penguji 2 : Dr. Fachrur Rozi, M.Si.

Anggota Penguji 3 : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maulany Az-Zahra
NIM : 220601110003
Program Studi : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Penerapan Metode *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER) untuk Pengelompokan Zona Rawan Kekeringan (Studi Kasus: Provinsi Nusa Tenggara Timur)

Menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pemikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan dalam daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa skripsi ini merupakan hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 26 Mei 2026

Yang membuat pernyataan,



Maulany Az-Zahra

NIM. 220601110003

MOTO

“Allah tidak mengatakan hidup ini mudah. Tetapi Allah berjanji, bahwa
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Q.S. Al-Insyiroh: 5-6)

“Apapun yang sudah terjadi dalam hidupmu, jangan katakan “seandainya”, tapi
katakan “Qadarullah” karena semua yang terjadi adalah takdir dan takdir Allah itu
selalu baik. Karena Allah itu Maha Mengetahui, Maha Baik”

(Ustadz Hanan Attaki)

PERSEMBAHAN

Segala puji dan ucapan rasa syukur panjatkan kepada Allah SWT, berkat rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Dengan segenap hati, rasa syukur dan rasa bahagia karena telah sampai pada titik ini, tentunya bukan suatu hal yang mudah, tetapi dengan niat, dukungan dan juga doa dari orang-orang baik disekitar saya, pada akhirnya tugas akhir ini terselesaikan dengan baik. Saya persembahkan skripsi ini untuk:

1. Teristimewa dengan penuh cinta kedua orang tua saya. Kepada cinta pertama saya yaitu Ayahanda Imam Muslih, terima kasih untuk setiap kasih sayang, cucuran keringat dan kerja keras yang engkau tukarkan sebuah nafkah demi anakmu bisa hidup nyaman sampai ditahap ini. Untuk pintu surga saya Ibunda Euis Laelasari, terima kasih untuk semua doa serta kasih sayang tanpa henti. Terima kasih atas segala pengorbanan yang bapak dan mama berikan, tak terhitung jumlahnya.
2. Kepada saudara sedarah satu-satunya, adik Rafa Surya Panggalih yang saya sayangi dan selalu mendoakan, tumbuh selalu jauh lebih baik.
3. Keluarga besar Bapak T.Moh. Irsad Partadireja dan Ibu Sukaeni, serta keluarga Bapak Abdurrohman dan Ibu Siti Towiyah. Terima kasih atas doa dan dukungan yang telah hidup dalam langkah ini. Untuk yang telah tiada, semoga kabar baik ini dapat menjangkau langit tempat kalian beristirahat. Bangga dari atas sana.
4. Guru, ustaz/ ustazah penulis, yang tak terhitung memberikan banyak ilmu, yang selalu mendoakan penulis, berkahnya, hingga detik ini selalu penulis rasakan dan penulis syukuri.
5. Sahabat dekat penulis, yang selalu ada sedari SMA, yaitu Amygdala (Nadia, Aes, Syfa, Naura, Murni, Rikke, Ajeng, Lindi, Dina, Sansan, Arun, Rere, Ziddan), mereka selalu meyakinkan bahwa penulis mampu, hingga penulis bisa melangkah sejauh ini, sejuta sayang untuk kalian. Terima kasih sudah menjadi rumah yang tidak hanya berupa bangunan.
6. Sahabat penulis di Malang, yaitu Berlina (Afifah, Diah, Faizah, Nada) yang selalu kebersamaan penulis dari semester satu, setiap sudut Kota Malang

menjadi saksi suka duka perjalanan kami. Beberapa orang berubah menjadi keluarga, terima kasih sudah menjadi salah satunya.

7. Sahabat satu kos Pak Soleh, yaitu Faiza, Fina, dan Via, terima kasih sudah membuktikan bahwa dunia perkuliahan tidak semenyeramkan itu, atas kebersamaan setiap hari selama tiga tahun, untuk semua canda, tawa, doas serta dukungan secara langsung disetiap langkah penulis
8. Sahabat konsorsium, Nisa Nur, Intan, Afifa, dan Mely, sudah mau menjadi teman penulis disaat penulis tidak punya teman di konsorsium. Beberapa hal yang sulit menjadi lebih mudah ketika dibersamai.
9. Terakhir, saya berterima kasih kepada sosok gadis yang selama ini diam-diam berjuang tanpa henti, perempuan sederhana. Terima kasih Maulany Az-Zahra, nama yang cantik. Terima kasih telah bertahan sejauh ini, bangga untuk setiap langkah kecil tanpa menyerah. Berusaha meyakinkan dan menguatkan diri sendiri bahwa kamu mampu. Terus tumbuh lebih baik, berbahagialah dan membahagiakan. Segala hal baik akan selalu menghampiri, kamu punya Allah yang sudah merencanakan dan memberikan porsi terbaik untuk perjalanan hidupmu.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah robil ‘alamin, puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Penerapan Metode *Spatial K’luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER) untuk Pengelompokan Zona Rawan Kekeringan (Studi Kasus: Provinsi Nusa Tenggara Timur)”. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya doa, dukungan, arahan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., CAHRM., CRMP., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Fachrur Rozi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Matematika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus Dosen Pembimbing I, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan terbaik agar penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
4. Mohammad Nafie Jauhari, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan nasehat dan bimbingan terbaik kepada penulis.
5. Abdul Aziz, M.Si., selaku Ketua Penguji dalam Ujian Skripsi.
6. Ria Dhea Layla Nur Karisma, M.Si., selaku Anggota Penguji I dalam Ujian Skripsi.
7. Seluruh Dosen Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Teman-teman angkatan Program Studi Matematika 2022 yang berbagi pengalaman selama menuntut ilmu di bangku perkuliahan.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan ketulusan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini

masih terdapat berbagai kekurangan, sehingga dengan lapang dada penulis menerima setiap kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak. Penulis juga berharap, karya ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri maupun bagi para pembaca, serta dapat dijadikan sebagai referensi dan menambah wawasan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 26 Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
مستخلص البحث.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	10
1.3 Tujuan Penelitian	10
1.4 Manfaat Penelitian	10
1.5 Batasan Masalah	11
BAB II KAJIAN TEORI	12
2.1 Teori Pendukung.....	12
2.1.1 <i>Preprocessing Data</i>	12
2.1.2 Statistika Deskriptif	13
2.1.3 Standardisasi Data	15
2.1.4 <i>Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal</i>	16
2.1.5 Pemilihan Klaster Optimal	20
2.1.6 Evaluasi Hasil Klaster Optimal	20
2.1.7 Kekeringan.....	23
2.1.8 Faktor Klimatologis	24
2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits.....	26
2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung	28
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Jenis Penelitian	31
3.2 Data dan Sumber Data	31
3.3 Lokasi Penelitian	32
3.4 Teknik Pengumpulan Data	33
3.5 Variabel Penelitian	34
3.6 Teknik Analisis Data	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 <i>Preprocessing Data</i>	40
4.2 Statistika Deskriptif	42
4.3 Standardisasi Data.....	51
4.4 Penerapan Metode SKATER.....	52

4.5 Pemilihan Klaster Optimal.....	73
4.4 Evaluasi Hasil Klaster Optimal	79
4.7 Hasil Klaster Optimal terhadap Kondisi Kekeringan	80
4.8 Kajian Nilai-Nilai Keislaman dengan Hasil Penelitian	84
BAB V PENUTUP.....	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Contoh Struktur Data di Stasiun Mali.....	32
Tabel 3.2	Daftar Stasiun Meteorologi di Nusa Tenggara Timur.	33
Tabel 3.3	Variabel Penelitian.....	34
Tabel 4.1	Data Stasiun Gewayantana Bulan Januari Tahun 2022.	40
Tabel 4.2	Data Stasiun Gewayantana Tahun 2022 setelah Interpolasi Linier ..	41
Tabel 4.3	Nilai Rata-Rata Bulanan Stasiun Gewayantana Tahun 2022.....	43
Tabel 4.4	Nilai Rata-Rata Tahunan Stasiun Gewayantana	44
Tabel 4.5	Nilai Rata-Rata Periode Sebelum Standardisasi (x_{ij}).....	45
Tabel 4.6	Daftar Koordinat Geografis Stasiun Meteorologi di NTT	49
Tabel 4.7	Statistika Deskriptif dari 9 Stasiun Meteorologi.....	50
Tabel 4.8	Nilai Rata-Rata Periode Setelah Standardisasi (x'_{ij})	52
Tabel 4.9	Interval Kategori Variabel Klasterisasi.....	58
Tabel 4.10	Perhitungan Deviasi Kuadrat pada Klaster 1 ($K = 2$)	61
Tabel 4.11	Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 2 Klaster	62
Tabel 4.12	Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 3 Klaster	64
Tabel 4.13	Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 4 Klaster	67
Tabel 4.14	Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 5 Klaster	70
Tabel 4.15	Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 6 Klaster	71
Tabel 4.16	Hasil MANOVA dengan <i>Pillai's Trace</i>	95
Tabel 4.17	Hasil <i>Davies-Bouldin Index</i> (DBI).....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh Hasil MST (Sumber: Ariyanto dkk. (2021))	18
Gambar 2.2	Contoh Partisi MST (Sumber: Ariyanto dkk. (2021))	20
Gambar 2.3	Contoh Hasil Pengelompokan Metode SKATER	20
Gambar 3.1	Peta Sebaran Stasiun Meteorologi di Nusa Tenggara Timur	33
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1	Rata-Rata Bulanan Stasiun Gewayantana Tahun 2022.....	43
Gambar 4.2	Rata-Rata Periode Sebelum Standardisasi	45
Gambar 4.3	Sebaran Stasiun Meteorologi di Nusa Tenggara Timur	47
Gambar 4.4	<i>K-Nearest Neighbour</i> (KNN)	54
Gambar 4.5	<i>Minimum Spanning Tree</i> (MST)	55
Gambar 4.6	MST Setelah Pemotongan Satu Sisi ($K = 2$).....	58
Gambar 4.7	Peta Hasil Klasterisasi 2 Klaster	62
Gambar 4.8	MST Setelah Pemotongan Dua Sisi ($K = 3$)	63
Gambar 4.9	Peta Hasil Klasterisasi 3 Klaster	64
Gambar 4.10	MST Setelah Pemotongan Tiga Sisi ($K = 4$)	66
Gambar 4.11	Peta Hasil Klasterisasi 4 Klaster	66
Gambar 4.12	MST Setelah Pemotongan Empat Sisi ($K = 5$)	69
Gambar 4.13	Peta Hasil Klasterisasi 5 Klaster	69
Gambar 4.14	MST Setelah Pemotongan Dua Sisi ($K = 6$)	70
Gambar 4.15	Peta Hasil Klasterisasi 6 Klaster	71
Gambar 4.16	Peta Peringatan Dini Potensi Kekeringan Meteorologis	82
Gambar 4.17	Peta Hasil Klaster Optimal ($K = 6$)	82

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai Rata-Rata Tahunan 9 Stasiun Meteorologi.....	110
Lampiran 2. Nilai Rata-Rata Tahunan 9 Stasiun Meteorologi.....	113
Lampiran 3. Script RStudio Statistika Deskriptif & Standardisasi <i>Z-score</i>	115
Lampiran 4. Script RStudio Metode SKATER, MANOVA, dan DBI	122

DAFTAR SIMBOL

X_1	: Curah hujan
X_2	: Suhu
X_3	: Kelembapan udara
X_4	: Lintang (<i>latitude</i>)
X_5	: Bujur (<i>longitude</i>)
x_{ij}	: Nilai estimasi pada objek lokasi ke- i , variabel ke- j
x_{i_1j}	: Nilai valid sebelum posisi data yang <i>missing</i>
x_{i_2j}	: Nilai valid sesudah posisi yang <i>missing</i>
p_1, p_2	: Indeks urutan pengamatan sebelum dan sesudah nilai yang <i>missing</i>
p	: Posisi data yang <i>missing</i>
$\bar{x}_j$	: Rata-rata variabel ke- j
x_{ij}	: Nilai pada objek lokasi ke- i , variabel ke- j
s_j	: Standar deviasi variabel ke- j
n	: Banyak objek lokasi
$d(i, r)$	: Jarak <i>Euclidean</i> antara objek lokasi ke- i dan ke- r
x_{rj}	: Nilai pada objek lokasi ke- r , variabel ke- j
m	: Banyak variabel
Π	: Partisi (pembagian objek lokasi ke dalam klaster)
$Q(\Pi)$	: Nilai kualitas dari partisi Π
SSD_c	: Jumlah deviasi kuadrat pada klaster ke- c
K	: Banyak klaster
n_c	: Banyak objek lokasi dalam klaster ke- c
$\bar{x}_{cj}$	: Nilai rata-rata pada klaster ke- c , variabel ke- j
V	: Statistik uji <i>Pillai's Trace</i>
λ_j	: Nilai eigen ke- j
tr	: Operator jejak (<i>trace</i>)
Λ	: Matriks diagonal berisi nilai eigen λ_j
D_1	: Matriks jarak <i>eulidean</i> dari atribut spasial
D_2	: Matriks jarak <i>eulidean</i> dari atribut klasterisasi
M	: ID Stasiun Meteorologi

DBI : *Davies-Bouldin Index*,

R_{cd} : Rasio kemiripan antara klaster ke- c dan klaster ke- d ,

SSW_c : Rata-rata jarak objek lokasi terhadap pusat klaster ke- c ,

SSW_d : Rata-rata jarak objek lokasi terhadap pusat klaster ke- d ,

SSB_{cd} : Jarak antara pusat klaster ke- c dan klaster ke- d .

ABSTRAK

Az-Zahra, Maulany. 2026. Penerapan Metode *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER) untuk Pengelompokan Zona Rawan Kekeringan (Studi Kasus: Provinsi Nusa Tenggara Timur). Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pembimbing: (1) Dr. Fachrur Rozi, M.Si. (2) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Kata Kunci: Kekeringan, SKATER, Analisis klaster Spasial, Data Klimatologis, Nusa Tenggara Timur

Kekeringan merupakan fenomena alam yang berdampak banyak pada berbagai sektor, terutama terhadap ketersediaan air dan kehidupan masyarakat, khususnya di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang memiliki karakteristik iklim kering. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang mampu mengelompokkan wilayah berdasarkan tingkat kerawanan kekeringan dengan mempertimbangkan aspek spasial dan klimatologis. Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan zona rawan kekeringan di NTT menggunakan metode *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER). Data yang digunakan berupa data klimatologis harian, yaitu curah hujan, suhu, dan kelembapan udara dari sembilan stasiun meteorologi periode 2022–2025 yang diperoleh dari BMKG. Data diolah melalui tahap *preprocessing*, standarisasi *Z-score*, kemudian metode SKATER diterapkan dengan membangun graf ketetanggaan menggunakan metode *K-Nearest Neighbour* (KNN) kemudian dibangun *Minimum Spanning Tree* (MST) dan mempartisinya menjadi beberapa klaster. Pemilihan klaster optimal dilakukan menggunakan MANOVA dengan statistik uji *Pillai's Trace*. Klaster optimal yang diperoleh yaitu 6 Klaster, dengan masing-masing klaster memiliki karakteristik tingkat kekeringan yang berbeda dari kekeringan sangat parah hingga tidak rawan terhadap kekeringan. Kemudian klaster optimal di evaluasi menggunakan *Davies-Bouldin Index* (DBI), hasil menunjukkan bahwa 6 Klaster memiliki nilai DBI terkecil. Hasil ini dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan mitigasi kekeringan dan pengambilan kebijakan yang lebih tepat sasaran di Provinsi Nusa Tenggara Timur.

ABSTRACT

Az-Zahra, Maulany. 2026. Application of the Spatial Cluster Analysis by Tree Edge Removal (SKATER) Method for the Classification of Drought-Prone Zones (Case Study: East Nusa Tenggara Province). Undergraduate Thesis. Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Advisors: (1) Dr. Fachrur Rozi, M.Si. (2) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Kata Kunci: Drought, SKATER, Spatial Cluster Analysis, Climatological Data, East Nusa Tenggara

Drought is a natural phenomenon that has a significant impact on water availability and people's livelihoods, particularly in East Nusa Tenggara (NTT) Province, which has a dry climate. Therefore, a method is needed that can classify regions based on their drought vulnerability levels while taking spatial and climatological aspects into account. This study aims to classify drought-prone zones in NTT using the Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal (SKATER) method. The data used consists of daily climatological data specifically precipitation, temperature, and relative humidity from nine meteorological stations for the 2022–2025 period, obtained from the Indonesian Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency (BMKG). The data were processed through preprocessing, After standardizing the Z-scores, the SKATER method was applied by constructing a neighborhood graph using the K-Nearest Neighbor (KNN) method, followed by the construction of a Minimum Spanning Tree (MST) and its partitioning into several clusters. The selection of optimal clusters was performed using MANOVA with Pillai's Trace as the test statistic. The optimal clusters identified were six clusters, with each cluster exhibiting distinct drought severity characteristics ranging from extremely severe drought to areas not prone to drought. The optimal clusters were then evaluated using the Davies-Bouldin Index (DBI), the results indicated that the six clusters had the lowest DBI values. These results can serve as a basis for drought mitigation planning and the formulation of more targeted policies in East Nusa Tenggara Province.

مستخلص البحث

الزهره، مولاني. ٢٠٢٦. تطبيق تحليل كلوستر المكاني باستخدام طريقة إزالة حواف الشجرة (*SKATER*) لتصنيف المناطق المعرضة للجفاف (دراسة حالة: محافظة نوسا تنغارا الشرقية). قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج
المشرف .: (١) الدكتور فخر رزي، الما جسترة فيالعلم (٢) محمد نفع جوهرى، الما جستير فيالعلوم.

الكلمات الاتمساسبه: الجفاف، المتزج، تحليل التجمع المكاني، البيانات المناخية، شرق نوسا تينغارا.

الجفاف هو ظاهرة طبيعية لها تأثير كبير على توفر المياه وحياة الناس، خاصة في مقاطعة نوسا تنغارا الشرقية (*NTT*) التي تتميز بخصائص مناخية جافة. لذلك، هناك حاجة إلى طريقة قادرة على تجميع المناطق بناء على مستوى التعرض للجفاف من خلال النظر إلى الجوانب المكانية والمناخية. تهدف هذه الدراسة إلى تصنيف المناطق المعرضة للجفاف في *NTT* باستخدام طريقة تحليل *K'luster* المكاني بإزالة حواف الشجرة (*SKATER*). البيانات المستخدمة على شكل بيانات مناخية يومية، وهي هطول الأمطار، ودرجة الحرارة، ورطوبة الهواء من تسع محطات أرصاد جوية للفترة ٢٠٢٥-٢٠٢٢، تم الحصول عليها من *BMKG*. تمت معالجة البيانات من خلال المعالجة المسبقة، وتوحيد درجة *Z*. يتم تطبيق طريقة *SKATER* عن طريق بناء شجرة امتداد دنيا (*MST*) وتقسيمها إلى عناصر. تم إجراء الاختيار الأمثل للعناقيد باستخدام تحليل *MANOVA* مع إحصائيات اختبار *Pillai Trace*. أفضل تجمع يتم الحصول عليه هو ٦ عناصر، حيث لكل عنقود خصائص جفاف مختلفة من جاف شديد إلى رطوبة نسبية. يمكن استخدام هذه النتائج كأساس للتخطيط للتخفيف من الجفاف وصنع سياسات أكثر استهدافا في مقاطعة نوسا تنغارا الشرقية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada analisis data, sering kali diperlukan metode yang mampu mengelompokkan objek berdasarkan kemiripan karakteristiknya. Salah satu pendekatan yang digunakan untuk tujuan tersebut adalah analisis klaster, yaitu suatu proses pengelompokan data ke dalam kelompok-kelompok yang memiliki kemiripan karakteristik tertentu (Hair dkk., 2019). Analisis klaster awalnya hanya mempertimbangkan kesamaan atribut non-spasial, tanpa memperhatikan faktor lokasi. Namun, seiring dengan meningkatnya ketersediaan data dan kemajuan teknologi, konsep klasterisasi berkembang pesat dan menjadi bagian penting dalam bidang *machine learning*. Bidang ini memanfaatkan algoritma matematis untuk mempelajari pola dari data dalam skala besar dan beragam. Salah satu cabangnya adalah *unsupervised learning*, yang berfokus pada pencarian pola atau struktur tersembunyi dalam data. *Unsupervised learning* identik dengan berbagai teknik analisis data seperti klasterisasi, reduksi dimensi, dan asosiasi pola. Khusus pada data spasial, tantangan utamanya terletak pada bagaimana mengintegrasikan informasi lokasi dengan atribut non-spasial, sehingga hasil pengelompokan tidak hanya mencerminkan kesamaan nilai tetapi juga keterkaitan geografis (Kopczewska, 2022).

Untuk menjawab tantangan tersebut, muncul suatu pendekatan matematis yaitu Metode *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER). SKATER pertama kali diperkenalkan Assuncao dkk. (2006) dengan prinsip dasar membangun graf berbobot yang mewakili keterhubungan antar wilayah, di mana

setiap wilayah dipetakan sebagai simpul (*node*) dan relasi antarwilayah direpresentasikan sebagai sisi (*edge*). Algoritma ini membangun sebuah *minimum spanning tree* (MST) berdasarkan ukuran ketidakmiripan (*dissimilarity*), lalu memutus sisi-sisi pohon tersebut secara rekursif untuk membentuk klaster yang optimal. Keunggulan utama metode SKATER terletak pada fleksibilitasnya dalam menggabungkan data spasial dan non-spasial secara bersamaan. Dengan pendekatan ini, klaster yang terbentuk tetap utuh secara geografis, sehingga mengatasi permasalahan terpisah-pisahannya wilayah yang kerap muncul pada metode klasterisasi seperti *k-means* maupun *hierarchical clustering*. SKATER memiliki keunggulan karena kesederhanaannya sekaligus kemampuannya menjaga kontinuitas spasial. Keunggulan tersebut menjadikan SKATER memiliki potensi kuat dalam berbagai kajian yang melibatkan pola geografis dan keterkaitan spasial antarwilayah (Kopczewska, 2022).

Berbagai penelitian telah berhasil mengaplikasikan metode SKATER dalam berbagai bidang, menunjukkan keefektifannya dalam mengelompokkan wilayah berdasarkan karakteristik spasial dan atribut tertentu. Misalnya, penelitian Harisqa (2024) menerapkan metode SKATER untuk mengelompokkan sebaran tempat wisata di Pulau Bawean berdasarkan jumlah pengunjung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembentukan empat klaster memberikan hasil paling optimal dibandingkan tiga dan lima klaster. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *silhouette coefficient* tertinggi dan nilai *mean squared error (MSE)* terendah pada model empat klaster, yang mencerminkan pengelompokan spasial paling optimal terhadap sebaran dan intensitas kunjungan wisata di Pulau Bawean.

Penelitian lain oleh Kharisudin dkk. (2023) menganalisis data infrastruktur kesehatan desa di Kabupaten Purworejo menggunakan metode SKATER. Hasilnya menunjukkan pengelompokan optimal dalam empat klaster, yaitu desa dengan infrastruktur kesehatan rendah, sedang, tinggi, dan sangat rendah, dengan jumlah desa terbanyak berada pada klaster infrastruktur rendah dan sedang. Selanjutnya, Ariyanto dkk. (2021) mengelompokkan 19 kecamatan di Kabupaten Tulungagung berdasarkan data *suspect*, sembuh, dan meninggal akibat Covid-19 menggunakan metode SKATER. Hasilnya menunjukkan bahwa pengelompokan optimal terbentuk dalam tiga klaster, dengan sebaran Covid-19 tertinggi terdapat di kecamatan yang berdekatan dengan pusat kabupaten, yaitu Boyolangu, Kedungwaru, dan Pakel.

Penelitian oleh Dirgantara dkk. (2020) mengelompokkan 34 provinsi di Indonesia berdasarkan indikator kesenjangan ekonomi menggunakan metode SKATER. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembentukan lima klaster lebih optimal, dengan tingkat ketimpangan tinggi terjadi di wilayah timur seperti Papua, sedangkan provinsi di Jawa menghadapi ketimpangan akibat arus migrasi dan lapangan kerja terbatas. Adapun wilayah Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi relatif lebih seimbang karena ditopang pembangunan infrastruktur yang memadai. Rinaldi (2017) menerapkan metode SKATER untuk menganalisis tingkat kriminalitas di Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Hasilnya terbentuk empat kelompok, dengan Kecamatan Bumi Agung termasuk dalam zona kriminalitas tinggi, sedangkan beberapa kecamatan seperti Negeri Agung dan Bahuga masuk zona kriminalitas rendah.

Keunggulan SKATER yang sudah dibuktikan dalam berbagai penelitian sebelumnya menjadikan metode SKATER sangat potensial untuk diterapkan dalam penanganan bencana yang dipengaruhi oleh kondisi iklim dan geografis, seperti kekeringan. Menurut *World Meteorological Organization* (2016) memahami bagaimana kekeringan dapat memengaruhi berbagai aspek kehidupan seperti komunitas, pertanian, sampai sektor ekonomi merupakan aspek penting dalam merumuskan upaya mitigasi kekeringan di masa mendatang. Sistem peringatan dini kekeringan pada umumnya dirancang untuk melakukan pemantauan, penilaian, serta penyampaian informasi yang relevan terkait kondisi dan dinamika iklim, hidrologi, serta ketersediaan sumber daya air. Tujuan utamanya adalah menyediakan informasi guna mendorong pengambilan tindakan untuk pengelolaan risiko kekeringan, sehingga potensi dampak dapat diminimalkan. Upaya kuantifikasi kerugian dan kerusakan akibat kejadian iklim ekstrem seperti kekeringan menjadi krusial dalam mendukung implementasi kebijakan, terutama karena besarnya dampak bencana yang ditimbulkan. Oleh karena itu, peningkatan sistem pemantauan dan pengelolaan kekeringan menjadi penting dalam pelaksanaan kebijakan untuk pengurangan risiko bencana. Pemantauan yang efektif dan akurat berperan sebagai masukan utama dalam proses identifikasi risiko. Tujuannya untuk meningkatkan sistem pemantauan, peringatan dini, dan penyampaian informasi untuk mendukung kebijakan manajemen kekeringan berbasis risiko serta rencana kesiapsiagaan.

Mengingat kekeringan merupakan bahaya yang berkembang secara perlahan, diperlukan pendekatan pemantauan dan pengelolaan kekeringan yang cermat dan terintegrasi (WMO, 2016). Salah satu pendekatan yang dapat digunakan

untuk mendukung pengelolaan kekeringan adalah metode analisis klaster spasial, seperti SKATER. Metode SKATER bertujuan untuk memetakan atau mengelompokkan zona rawan kekeringan. Metode ini dipilih sebagai pendekatan untuk melakukan regionalisasi kekeringan berdasarkan dua pertimbangan utama. Pertama, metode ini mampu mempertahankan aspek kontiguitas spasial dalam dataset sehingga klaster yang dihasilkan tetap mencerminkan keterhubungan antarwilayah. Hal ini menjadi penting mengingat kekeringan merupakan fenomena yang memiliki karakteristik spasial, sehingga analisis yang komprehensif menuntut pelestarian hubungan spasial antarwilayah dalam proses identifikasi daerah terdampak. Kedua, SKATER memiliki keunggulan dalam mengakomodasi berbagai pembatasan selama proses pengelompokan, yang memungkinkan pembentukan klaster yang lebih relevan secara kontekstual (Jamro dkk., 2019).

Kekeringan pada dasarnya dipengaruhi oleh berbagai faktor klimatologis, di antaranya curah hujan, suhu, kelembapan udara, serta karakteristik hujan seperti distribusi, intensitas, dan durasinya (Mishra & Singh, 2010). Penerapan metode SKATER relevan untuk data klimatologis karena karakteristik variabel seperti curah hujan, suhu, dan kelembapan udara dapat menjadi suatu atribut variabel acak dengan variasi kontinu. Menurut Assuncao dkk. (2006) atribut variabel acak dengan variasi kontinu dapat menghasilkan MST yang unik untuk pemilihan ukuran ketidakmiripan yang umum. Penelitian kekeringan sebelumnya oleh Yuliatin (2017) yang memodelkan kekeringan di Nusa Tenggara Timur menggunakan *statistical downscaling* dengan pra-pemrosesan *Principal Component Analysis* (PCA), yang menghasilkan beberapa model terbaik pada ketinggian geopotensial 900 hPa, 875 hPa, dan 500 hPa untuk memprediksi indeks kekeringan SPI3.

Pendekatan tersebut hanya berfokus pada hubungan statistik dan reduksi dimensi data tanpa menampilkan sebaran spasial kekeringan dalam bentuk peta, sehingga pola kedekatan geografis antarwilayah tidak terlihat secara eksplisit seperti pada metode SKATER.

Provinsi Nusa Tenggara Timur dipilih sebagai lokasi studi kasus karena berdasarkan laporan BMKG (2025), sebagian kecil wilayah di Indonesia yang mengalami hujan tahunan di bawah normal menjadi wilayah yang harus diwaspadai akan mengalami hari tanpa hujan berkepanjangan yang dapat menyebabkan kekeringan terutama wilayah Bali, Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Beberapa wilayahnya pernah mengalami hari tanpa hujan selama 6–8 bulan. Provinsi NTT dipilih karena memiliki jumlah stasiun meteorologi lebih banyak yaitu 9, dibandingkan wilayah Bali yang hanya memiliki 2 stasiun meteorologi dan NTB yang hanya memiliki 4 stasiun meteorologi. Banyak stasiun meteorologi yang memadai penting untuk penerapan metode SKATER karena metode ini memerlukan representasi spasial yang cukup untuk membentuk klaster. Dengan demikian, pemilihan Provinsi NTT tidak hanya didasarkan pada relevansi klimatologisnya terhadap isu kekeringan, tetapi juga pada pertimbangan spasial dan matematis agar analisis klaster yang dilakukan dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan representatif.

Secara geografis, Nusa Tenggara Timur terletak di bagian selatan garis khatulistiwa pada kisaran 8° – 12° Lintang Selatan dan 118° – 125° Bujur Timur. Kondisi iklim di wilayah NTT cenderung kering, yang dipengaruhi oleh pola pergerakan angin muson. Kondisi kekeringan di NTT ditandai dengan aktivitas masyarakat yang harus menempuh jarak yang cukup jauh menuju sumber mata air

yang berada di daerah perbukitan untuk memperoleh air bersih guna memenuhi kebutuhan sehari-hari. Selain itu, keterbatasan ketersediaan air mendorong masyarakat untuk melakukan penghematan, salah satunya dengan mengurangi mandi (Yuliatin, 2017). Berdasarkan catatan BMKG, pada musim kemarau tahun 2025 sejumlah wilayah di NTT mengalami periode hari tanpa hujan yang berkepanjangan, dengan durasi mencapai hingga 94 hari. Wilayah yang tercatat mengalami kondisi tanpa hujan selama 66–94 hari meliputi Kabupaten Rote Ndao, Kota Kupang, Kabupaten Kupang, Kabupaten Belu, Kabupaten Sumba Timur, serta Kabupaten Sabu Raijua. BMKG secara berkelanjutan memantau kondisi cuaca dan curah hujan untuk memberikan peringatan dini terkait potensi kekeringan, mengantisipasi risiko kekeringan serta kebakaran hutan dan lahan, sementara pemerintah daerah diharapkan mengintegrasikan informasi tersebut ke dalam perencanaan lintas sektor guna mengurangi dampak bagi masyarakat (Antara, 2025).

Dalam sistem pengamatan iklim di Indonesia, BMKG memiliki beberapa jenis stasiun pengamatan yang dibedakan berdasarkan fungsi dan jenis data yang dihasilkan. Secara umum, BMKG mengelompokkan stasiun menjadi Stasiun Meteorologi, Stasiun Klimatologi, dan Stasiun Geofisika. Stasiun Meteorologi berfokus pada pengamatan unsur cuaca harian seperti suhu udara, curah hujan, kelembapan, tekanan udara, arah dan kecepatan angin, serta parameter atmosfer lainnya yang diamati secara kontinu dengan resolusi waktu harian. Stasiun Klimatologi memiliki cakupan pengamatan yang lebih luas dan berorientasi pada analisis iklim jangka panjang, termasuk pengamatan radiasi matahari, evaporasi, dan unsur klimatologis lainnya untuk keperluan penelitian iklim. Sementara itu,

Stasiun Geofisika berfokus pada pengamatan fenomena geofisika seperti gempa bumi, medan magnet bumi, dan tsunami, sehingga tidak secara langsung menyediakan data unsur cuaca harian (BMKG, 2020). Perbedaan karakteristik tersebut menunjukkan bahwa Stasiun Meteorologi merupakan sumber data yang paling relevan untuk penelitian ini, karena menyediakan data harian yang konsisten dan kontinu terkait variabel klimatologis utama, yaitu curah hujan, suhu, dan kelembapan udara. Ketiga variabel tersebut merupakan indikator penting dalam analisis kekeringan dan memiliki peran signifikan dalam merepresentasikan kondisi atmosfer suatu wilayah.

Penelitian mengenai fenomena alam seperti kekeringan tidak hanya merupakan aktivitas ilmiah, tetapi juga bentuk tadabbur terhadap ayat-ayat kauniyah Allah SWT. Penelitian ini memanfaatkan pendekatan geospasial untuk memahami sebaran risiko kekeringan di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Aktivitas ini selaras dengan perintah Allah dalam Q.S. Al-An'am ayat 11:

قُلْ سِيرُوا فِي الْأَرْضِ ثُمَّ انظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الْمُكَذِّبِينَ ﴿١١﴾

“Katakanlah (Nabi Muhammad): Jelajahilah bumi, kemudian perhatikanlah bagaimana kesudahan orang-orang yang mendustakan itu.” (Q.S. Al-An'am: 11).

Berdasarkan Tafsir Al-Misbah volume 4, ayat ini mencerminkan perintah untuk menjelajahi dan mengobservasi bumi, yang dalam konteks modern dapat dimaknai sebagai eksplorasi data geospasial untuk memahami kondisi alam secara lebih ilmiah dan sistematis. Lebih jauh, usaha mitigasi bencana seperti kekeringan juga merupakan bagian dari amanah manusia sebagai khalifah *fil-ardh* yang bertanggung jawab menjaga bumi dan melindungi kehidupan (Shihab, 2002b).

Sebagaimana firman Allah dalam Q.S. Al-Baqarah ayat 205, yang mengecam perusakan dan mendorong perbaikan:

وَإِذَا تَوَلَّى سَعَىٰ فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ ۗ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفُسَادَ ﴿٢٠٥﴾

“Dan apabila ia berpaling (dari kamu), ia berjalan di bumi untuk menimbulkan kerusakan di bumi dan merusak tanam-tanaman dan keturunan. Dan Allah tidak menyukai kerusakan.” (Q.S. Al-Baqarah: 205).

Berdasarkan Tafsir Al-Misbah volume 1, ayat ini mengajarkan bahwa segala bentuk perusakan lingkungan dan abainya terhadap keberlangsungan kehidupan adalah perbuatan yang tidak disukai oleh Allah (Shihab, 2002a). Oleh karena itu, penelitian ini dapat menjadi bagian dari ikhtiar untuk mencegah kerusakan dan mengelola bumi dengan bijak. Di sisi lain, penggunaan metode ilmiah seperti SKATER mencerminkan pentingnya peran ilmu pengetahuan dalam Islam. Ilmu tidak hanya menjadi alat untuk memahami dunia, tetapi juga sarana untuk menunaikan tanggung jawab sosial. Sebagaimana firman Allah dalam QS. Al-Mujadilah ayat 11:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ ۚ وَإِذَا قِيلَ انشُرُوا فَانْشُرُوا ۚ يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۚ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴿١١﴾

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.” (Q.S. Al-Mujadilah: 11).

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademik melalui penerapan metode matematis berbasis teori graf, tetapi juga mencerminkan integrasi antara ilmu pengetahuan dan nilai keislaman. Pengelompokan kekeringan bukan sekadar langkah analisis tambahan, melainkan bagian esensial dalam kerangka mitigasi kekeringan. Tanpa pengelompokan yang tepat, upaya mitigasi berpotensi menjadi kurang efektif karena tidak

mempertimbangkan heterogenitas karakteristik kekeringan antarwilayah. Oleh karena itu, penerapan metode klaster spasial seperti SKATER menjadi relevan dan penting, karena mampu menghasilkan zona rawan kekeringan yang homogen secara karakteristik hidrometeorologis sekaligus kontinu secara geografis. Pendekatan ini sejalan dengan rekomendasi WMO (2016) mengenai perlunya pemantauan dan pengelolaan kekeringan yang terintegrasi, serta didukung oleh bukti empiris dari studi internasional yang menunjukkan bahwa regionalisasi spasial merupakan alat yang efektif dalam memahami dan memitigasi risiko kekeringan secara lebih komprehensif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil pengelompokan zona rawan kekeringan di Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan menggunakan metode *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian ini adalah menentukan klaster optimal pengelompokan zona rawan kekeringan di Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan menggunakan metode *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER).

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi Penulis

Menambah wawasan dan pengalaman dalam menerapkan metode analisis spasial khususnya metode SKATER, dalam konteks pengelompokan zona rawan kekeringan.

2. Bagi Pembaca

Sebagai referensi dan bahan pembelajaran mengenai penerapan metode SKATER pada data klimatologis, sekaligus memperluas pemahaman tentang analisis spasial untuk identifikasi zona rawan kekeringan.

3. Bagi Instansi

Sebagai referensi, memberikan informasi berupa hasil pengelompokan kekeringan di Provinsi Nusa Tenggara Timur yang dapat digunakan untuk informasi lebih lanjut sebagai pengambilan tindakan pengelolaan risiko kekeringan, sehingga potensi dampak dapat diminimalkan oleh para praktisi kekeringan seperti BMKG, pengelola sumber daya, serta pengambil keputusan lainnya.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini dibatasi pada wilayah Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan unit analisis berupa stasiun meteorologi. Data klimatologis yang digunakan yaitu data curah hujan, suhu, dan kelembapan udara, dengan rentang waktu tahun 2022-2025. Pengelompokan dilakukan dengan metode *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER) tidak membandingkan hasil dengan metode pengelompokan lainnya.
2. Pemilihan klaster optimal menggunakan Manova dengan statistik uji *Pillai's Trace* dan dievaluasi menggunakan *Davies-Bouldin Index* (DBI).

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Teori Pendukung

2.1.1 *Preprocessing Data*

Preprocessing data adalah Tahap awal pengolahan data salah satunya yaitu deteksi dan penanganan *missing value*. *Missing value* adalah data yang hilang atau tidak lengkap, yang dapat muncul akibat kesalahan pencatatan, kerusakan instrumen, atau kendala teknis lainnya. Kehadiran *missing value* tidak selalu mengganggu analisis, terutama jika jumlahnya sedikit. Namun, jika jumlah *missing value* cukup besar, evaluasi kelayakan data perlu dilakukan karena dapat mengurangi ukuran sampel dan menimbulkan bias (Hair dkk., 2019). Dalam konteks klimatologi, *World Meteorological Organization* telah menetapkan standar kelayakan data klimatologis yang digunakan secara luas oleh lembaga meteorologi nasional, termasuk BMKG. Untuk data harian yang akan dihitung menjadi nilai bulanan, suatu bulan dianggap tidak layak apabila terdapat lebih dari 11 hari hilang atau lebih dari 5 hari hilang berturut-turut. Aturan ini berlaku untuk parameter rata-rata seperti suhu dan kelembapan (WMO, 2017).

Untuk parameter jumlah, seperti curah hujan, WMO menetapkan ketentuan yang lebih ketat yaitu maksimal 10 hari dalam satu bulan atau 5 hari berturut-turut. Secara umum, nilai bulanan tidak dapat dihitung jika ada satu hari saja yang hilang, kecuali apabila data yang hilang dapat diganti dengan estimasi melalui metode interpolasi atau sumber alternatif seperti radar/satelit. *Missing value* yang masih dapat diterima diestimasi menggunakan interpolasi linier, yaitu metode interpolasi sederhana yang sesuai untuk data klimatologi karena perubahan nilai

dari waktu ke waktu dapat diperkirakan dari nilai sebelumnya dan sesudahnya.

Persamaan interpolasi linier sebagai berikut (Joarder, 2001):

$$x_{ij} = x_{i_1j} + \frac{p - p_1}{p_2 - p_1} (x_{i_2j} - x_{i_1j}), \quad (2.1)$$

dengan:

x_{ij} : Nilai *missing* pada objek lokasi ke- i , variabel ke- j

x_{i_1j} : Nilai valid sebelum posisi data yang *missing*,

x_{i_2j} : Nilai valid sesudah posisi data yang *missing*,

p_1, p_2 : Urutan pengamatan sebelum dan sesudah data yang *missing*,

p : Posisi data yang *missing*.

2.1.2 Statistika Deskriptif

Menurut Agresti & Franklin (2007) dalam skripsi Ningsih (2017), statistika deskriptif digunakan untuk mengeksplorasi data serta mengidentifikasi pola-pola yang muncul, sehingga dapat digunakan untuk memahami karakteristik data.

1. Agregasi Data

Menurut WMO, untuk menghitung nilai tahunan dihitung dari nilai bulanan, bukan langsung dari nilai tahunan. Data harian terlebih dahulu diubah menjadi rata-rata bulanan, kemudian dirata-ratakan menjadi rata-rata tahunan, dan selanjutnya dihitung rata-rata periode untuk memperoleh nilai representatif dalam rentang waktu tertentu. Pendekatan agregasi dilakukan agar hasil rata-rata yang digunakan dalam analisis pengelompokan SKATER merepresentasikan kondisi iklim yang stabil dalam satuan waktu yang lebih panjang, mengurangi pengaruh fluktuasi harian yang bersifat

acak, serta sesuai dengan prinsip pengolahan data klimatologis (WMO, 2017).

2. Sebaran Objek Lokasi

Sebaran objek lokasi bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai posisi geografis setiap unit pengamatan dalam penelitian. Untuk mengetahui apakah objek lokasi tersebar merata atau mengelompok pada wilayah tertentu. Informasi koordinat lintang dan bujur membantu memahami kondisi geografis masing-masing lokasi.

3. Rata-Rata dan Standar Deviasi

Rata-rata merupakan nilai yang diperoleh dengan menjumlahkan seluruh data pengamatan, kemudian membaginya dengan jumlah pengamatan.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung rata-rata sebagai berikut:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n}, \quad (2.2)$$

dengan:

$\bar{x}_j$: Rata-rata variabel ke- j ,

x_{ij} : Nilai pada objek lokasi ke- i variabel ke- j ,

n : Objek lokasi.

Standar deviasi adalah ukuran penyebaran data terhadap rata-rata, dihitung sebagai akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih setiap pengamatan dengan rata-rata. Persamaan yang digunakan untuk menghitung standar deviasi sebagai berikut:

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n - 1}}, \quad (2.3)$$

dengan:

s_j : Standar deviasi variabel ke- j .

2.1.3 Standardisasi Data

Dalam proses pengolahan data, keberadaan perbedaan satuan yang mencolok antar variabel menjadi alasan penting dilakukannya standardisasi data. Tujuannya untuk menyeragamkan skala data, sehingga masing-masing variabel dapat dibandingkan secara proporsional. Berbagai metode standardisasi data dapat digunakan, penelitian Wongoutong (2024) menunjukkan bahwa metode *Z-score standardization* lebih unggul dibandingkan metode lain. Metode ini mengubah data menjadi rata-rata nol dan simpangan baku satu, sehingga mencegah variabel dengan rentang nilai besar mendominasi perhitungan jarak. Hair dkk. (2019) juga menyatakan *Z-score standardization* adalah standardisasi yang paling umum digunakan dan berguna dalam analisis kluster karena memudahkan perbandingan antar variabel yang digunakan dalam klusterisasi meskipun memiliki skala atau distribusi yang berbeda. Dengan demikian, *Z-score standardization* dipilih dalam penelitian ini karena relevan untuk analisis kluster spasial. Adapun persamaan *Z-score standardization* sebagai berikut (Hair dkk., 2019):

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}, \quad (2.4)$$

dengan:

x'_{ij} : Nilai hasil standardisasi pada objek lokasi ke- i variabel ke- j ,

x_{ij} : Nilai asli pada objek lokasi ke- i variabel ke- j ,

$\bar{x}_j$: Rata-rata variabel ke- j ,

s_j : Standar deviasi variabel ke- j .

2.1.4 *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal*

Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal (SKATER) adalah algoritma untuk membagi objek lokasi menjadi klaster berdasarkan kemiripan antar objek lokasi. Metode ini mentransformasi data kewilayahan menjadi graf partisi, di mana setiap simpul (*node*) mewakili suatu objek lokasi dan terhubung dengan tetangganya melalui sisi (*edge*) yang mencerminkan tingkat ketidakmiripan atribut. Partisi dilakukan pada objek lokasi yang tidak berada di lingkungan serupa atau memiliki karakteristik berbeda, sehingga terbentuk klaster-klaster yang homogen di dalamnya dan heterogen antar klaster (Ariyanto dkk., 2021). Sebelum membangun MST, terlebih dahulu menentukan struktur graf ketetanggaan menggunakan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN). Menurut Getis dan Aldstadt (2004), salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam pembentukan *spatial weights matrix* adalah *n nearest neighbors*. Selain itu, Griffith (1996) yang dikutip oleh Getis dan Aldstadt (2004) menyatakan bahwa spesifikasi matriks bobot spasial dengan jumlah tetangga antara empat hingga enam memberikan representasi struktur spasial yang lebih baik dibandingkan jumlah tetangga yang kurang dari empat atau lebih dari enam.

Kemudian untuk menyederhanakan struktur graf, dibangun *Minimum Spanning Tree* (MST) yang menghubungkan seluruh simpul dengan total bobot minimum. Selanjutnya, dilakukan pemangkasan terhadap sisi dengan tingkat ketidakmiripan tinggi untuk membentuk partisi klaster. Klaster diperoleh dengan mempartisi pohon tersebut, menghasilkan kelompok objek lokasi yang efisien dan berkualitas baik (Ariyanto dkk., 2021). Pada analisis spasial, titik yang

terlokalisasi secara geografis dapat direpresentasikan melalui koordinat lintang dan bujur. Informasi koordinat tersebut memungkinkan pengelompokan pengamatan ke dalam klaster spasial yang bersifat kontinu dan mencakup seluruh titik yang dianalisis. Pendekatan ini dapat digunakan contohnya seperti pada fasilitas pendidikan, layanan pos, dan pusat perbelanjaan, maupun untuk segmentasi wilayah pemasaran, dan lain-lain (Kopczewska, 2022). Pada metode SKATER terdapat dua langkah analisis yaitu sebagai berikut (Ariyanto dkk., 2021):

1. Membangun *Minimum Spanning Tree* (MST).

MST adalah penggambaran grafik persekitaran antar objek lokasi berdasarkan atribut tertentu. Misalkan terdapat sekumpulan objek lokasi O dengan atribut $\{A_1, \dots, A_m\}$, di mana setiap objek lokasi memiliki vektor atribut $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{im})$. Topologi objek ini membentuk graf keterhubungan $G = (V, L)$, di mana simpul (*node*) yaitu V mewakili objek lokasi dan sisi (*edge*) yaitu L menghubungkan simpul v_i dan v_r jika objek lokasi i dan r saling berdekatan. Jarak kedekatan diukur dengan jarak berdasarkan variabel atribut klasteriasi dengan persamaan *Euclidean* (Assuncao dkk., 2006). Jarak spasial dihitung menggunakan Persamaan *Euclidean* sebagai berikut (Assuncao dkk., 2006):

$$d(i, r) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_{rj})^2}, \quad (2.5)$$

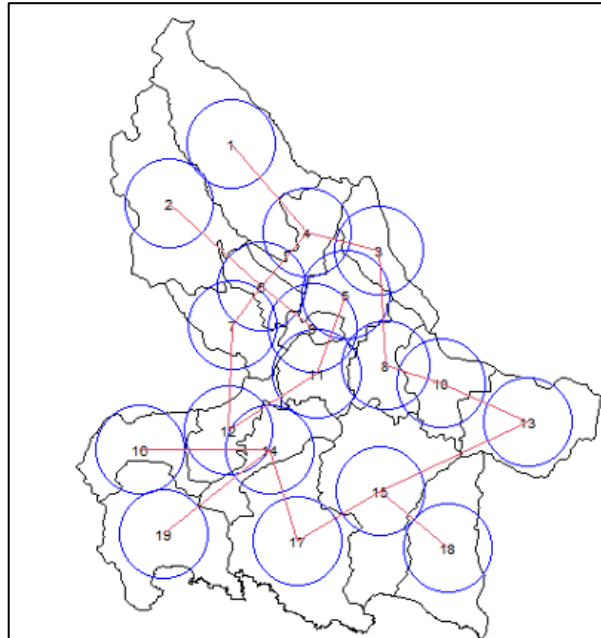
dengan:

$d(i, r)$: Jarak antara objek lokasi ke- i dan ke- r ,

x_{ij} : Nilai pada objek lokasi ke- i variabel ke- j ,

j : Variabel.

Gambar 2.1 adalah contoh hasil pembentukan MST pada penelitian Ariyanto dkk. (2021).



Gambar 2.1 Contoh Hasil MST (Sumber: Ariyanto dkk. (2021))

2. Membuat Partisi MST

Setelah MST terbentuk, pengelompokan dilakukan menggunakan metode SKATER melalui partisi rekursif pada MST. Proses ini menghasilkan kluster yang memiliki homogenitas tinggi pada variabel di dalamnya. Partisi dimulai dengan menghapus sisi (*edge*) pada MST secara bertahap, sehingga terbentuk kelompok-kelompok berbentuk pohon. Hasil partisi ini menghasilkan graf G^* yang terdiri dari pohon-pohon $T_1, T_2, \dots, T_n$ di mana setiap pohon tetap terhubung secara internal tetapi tidak memiliki simpul maupun sisi yang menghubungkannya dengan pohon lain. Pemilihan sisi yang dipotong didasarkan pada minimasi jumlah kuadrat deviasi antar kelompok (*Sum of squared differences*) (SSD) (Assuncao dkk., 2006):

$$Q(\Pi) = \sum_{c=1}^K SSD_c, \quad (2.6)$$

dengan:

Π : Partisi (pembagian objek lokasi ke dalam klaster),

$Q(\Pi)$: Nilai kualitas dari partisi Π ,

SSD_c : Jumlah kuadrat deviasi dalam klaster ke- c ,

K : Banyak klaster.

Jumlah SSD menggambarkan tingkat penyebaran nilai variabel dalam suatu klaster, sehingga dapat digunakan sebagai ukuran homogenitas internal klaster. Klaster yang bersifat homogen akan menghasilkan nilai SSD yang kecil. Dengan demikian, semakin kecil nilai $Q(\Pi)$, maka semakin baik partisinya. Nilai SSD dirumuskan sebagai berikut (Assuncao dkk., 2006):

$$SSD_c = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_c} (x'_{ij} - \bar{x}'_{cj})^2, \quad (2.7)$$

dimana $\bar{x}'_{cj}$ dicari menggunakan rumus:

$$\bar{x}'_{cj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} x'_{ij}}{n_c}, \quad (2.8)$$

dengan:

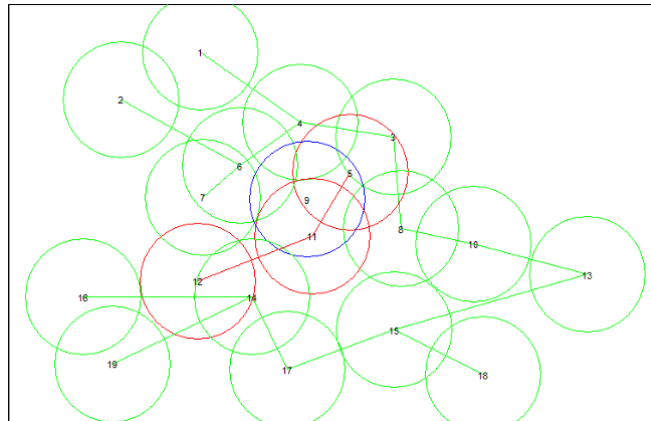
n_c : Banyak objek lokasi dalam klaster ke- c ,

x'_{ij} : Nilai hasil standardisasi pada objek lokasi ke- i variabel ke- j ,

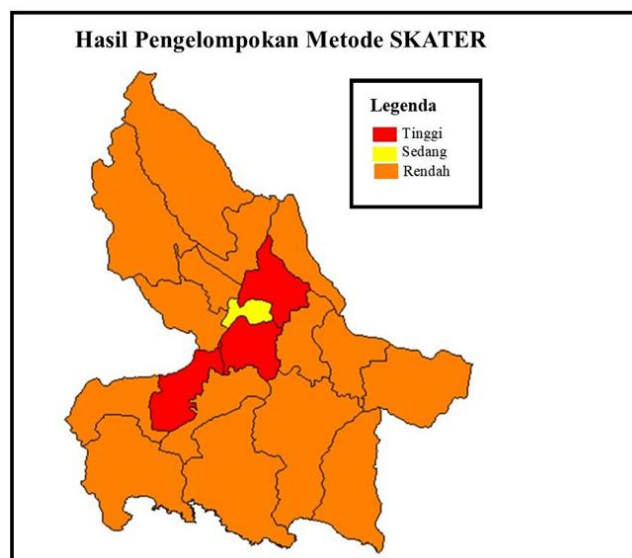
$\bar{x}'_{cj}$: Nilai rata-rata pada klaster ke- c variabel ke- j .

Gambar 2.2 adalah contoh hasil pembentukan partisi MST pada penelitian Ariyanto dkk. (2021). Gambar 2.3 adalah contoh hasil klasterisasi menggunakan metode SKATER pada penelitian Ariyanto dkk. (2021) yang

mengelompokkan 19 kecamatan di Kabupaten Tulungagung berdasarkan data *suspect*, sembuh, dan meninggal akibat Covid-19.



Gambar 2.2 Contoh Partisi MST (Sumber: Ariyanto dkk. (2021))



Gambar 2.3 Contoh Hasil Pengelompokan Metode SKATER (Sumber: Ariyanto dkk. (2021))

2.1.5 Pemilihan Klaster Optimal

Setelah beberapa klaster terbentuk, dilakukan pemilihan klaster optimal dengan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA). Terdapat beberapa statistik uji yang digunakan dalam analisis MANOVA, yaitu *Wilks' Lambda*, *Pillai's Trace*, *Lawley-Hotelling Trace*, *Roy's Largest Root*. Dalam penelitian ini, statistik *Pillai's Trace* dipilih sebagai alat uji. Alasan pemilihannya adalah karena

statistik ini dikenal lebih tangguh terhadap pelanggaran asumsi multivariat, serta cenderung memberikan penilaian yang lebih konservatif, yang sesuai untuk analisis data spasial dengan kemungkinan ketidakterpenuhan asumsi distribusi normal multivariat. Persamaan *Pillai's Trace* sebagai berikut (Kharisudin dkk., 2023):

$$V = \sum_{j=1}^m \frac{\lambda_j}{1 + \lambda_j} = \text{tr} (\Lambda(I + \Lambda)^{-1}), \quad (2.9)$$

dengan:

V : Statistik uji *Pillai's Trace*,

λ_j : Nilai eigen ke- j ,

tr : Operator jejak (*trace*),

Λ : Matriks diagonal berisi nilai eigen λ_j ,

I : Matriks identitas.

Pengujian dilakukan berdasarkan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : Tidak terdapat perbedaan rata-rata multivariat antar kluster

H_1 : Terdapat perbedaan rata-rata multivariat antar kluster

Kriteria pengambilan keputusan: Tolak H_0 jika $P - \text{value} < 0.05$, yang berarti terdapat perbedaan rata-rata multivariat antar kluster. Kluster optimal dipilih pada kluster yang menghasilkan nilai *Pillai's Trace* terbesar dan $P - \text{value} < 0.05$. Selanjutnya, hasil pengelompokan dievaluasi untuk melihat kualitas kluster yang terbentuk.

2.1.6 Evaluasi Hasil Kluster Optimal

Menurut Kapita dkk. (2022) dalam skripsi Azra (2023) validasi kluster merupakan proses dalam mengevaluasi hasil analisis kluster secara kuantitatif dan

objektif. Salah satu metode yang bisa digunakan dalam evaluasi hasil analisis kluster adalah *Davies-Bouldin Index* (DBI). Metode ini mengevaluasi hasil kluster berdasarkan dua aspek utama, yaitu memaksimalkan jarak inter kluster melalui *sum of square between cluster* dan minimum jarak antar objek lokasi dalam satu kluster melalui *sum of square within cluster*. Sehingga DBI dapat digunakan untuk menentukan hasil kluster yang memiliki tingkat optimalitas yang paling tinggi, yaitu kluster yang memiliki homogenitas internal rendah (variansi dalam kluster rendah) serta heterogenitas eksternal tinggi (variansi antar kluster tinggi).

Menurut Dewi dan Pramita (2019) dalam skripsi Azra (2023), hasil klustering dikatakan optimal apabila mempunyai nilai DBI yang semakin mendekati nol. Nilai DBI yang kecil menunjukkan bahwa objek-objek dalam kluster yang sama memiliki jarak yang minimum antarobjek dalam kluster. Nilai DBI dapat dipengaruhi oleh tingkat kohesi (kedekatan objek dalam satu kluster) dan separasi (jarak antar kluster). Pada penelitian mereka, diperoleh nilai DBI sebesar 0,03 yang menunjukkan nilai DBI yang sangat baik karena nilainya sangat dekat dengan nol. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa kluster yang terbentuk memiliki kohesi yang tinggi di dalam kluster dan separasi yang tinggi antar kluster. Nilai DBI dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$DBI = \frac{1}{K} \sum_{c=1}^K \max_{d \neq c} (R_{cd}), \quad (2.10)$$

dengan R_{cd} diperoleh menggunakan persamaan berikut.

$$R_{cd} = \frac{SSW_c + SSW_d}{SSB_{cd}}, \quad (2.11)$$

dengan:

DBI : *Davies-Bouldin Index*,

R_{cd} : Rasio kemiripan antara klaster ke- c dan klaster ke- d ,

SSW_c : Rata-rata jarak objek lokasi terhadap pusat klaster ke- c ,

SSW_d : Rata-rata jarak objek lokasi terhadap pusat klaster ke- d ,

SSB_{cd} : Jarak antara pusat klaster ke- c dan klaster ke- d .

2.1.7 Kekeringan

Organisasi Meteorologi Dunia (WMO) mendefinisikan kekeringan sebagai kondisi kekurangan presipitasi yang terjadi dalam jangka waktu lama dan berlangsung secara terus-menerus. Berbeda dengan bencana alam lainnya, kekeringan sulit ditentukan waktu yang jelas mengenai awal maupun akhirnya, sehingga penanganan dan mitigasinya menjadi lebih menantang (Mishra & Singh, 2010). Menurut BMKG dalam tesis Yuliatin (2017), kekeringan dapat dibedakan menjadi empat jenis berdasarkan karakteristik dan sumber penyebabnya, yaitu kekeringan meteorologis, kekeringan pertanian, kekeringan hidrologis, dan kekeringan sosial ekonomi. Berdasarkan variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu data klimatologis (curah hujan, suhu, kelembapan udara) yang diperoleh dari BMKG, maka penelitian ini dikategorikan sebagai kajian kekeringan meteorologis. Kekeringan meteorologis dikategorikan dalam tiga tingkatan:

1. Kering, apabila curah hujan berada pada kisaran 70%–80% dari rata-rata normal;
2. Sangat kering, apabila curah hujan hanya mencapai 50%–70% dari kondisi normal;

3. Amat sangat kering, apabila curah hujan turun hingga kurang dari 50% dari nilai rata-rata normal.

2.1.8 Faktor Klimatologis

Fenomena kekeringan pada dasarnya dipengaruhi oleh berbagai faktor klimatologis, di antaranya curah hujan, suhu udara, kelembapan udara, serta karakteristik hujan seperti distribusi, intensitas, dan durasinya (Mishra & Singh, 2010). Selain itu *longitude* dan *latitude* digunakan untuk mendukung analisis, sehingga distribusi geografis dapat diperhitungkan dalam metode SKATER (Assuncao dkk., 2006).

1. Variabel klimatologis

Curah hujan; hujan didefinisikan sebagai jatuhnya hidrometeor berupa butiran air berdiameter lebih dari atau sama dengan 0.5 milimeter yang mencapai permukaan tanah. Apabila butiran air tersebut menguap sebelum sampai ke permukaan, fenomena ini dikenal dengan istilah *virga*. Secara umum, hujan terbentuk akibat proses kondensasi, dan ketika udara mencapai titik jenuh, partikel air akan jatuh ke bumi. Curah hujan dinyatakan dalam satuan milimeter (mm), di mana 1 mm curah hujan setara dengan 1 liter air yang tertampung pada luasan satu meter persegi. Selain jumlah hujan, dikenal pula istilah intensitas hujan yang menunjukkan banyaknya curah hujan pada selang waktu tertentu. BMKG (2019) mengklasifikasikan kriteria hujan berdasarkan curah hujan, yaitu sebagai berikut:

- a. Hujan ringan : 1.0 – 5.0 mm/jam atau 5 – 20 mm/hari
- b. Hujan sedang : 5.0 – 10 mm/jam atau 20 – 50 mm/hari

- c. Hujan lebat : 10 – 20 mm/jam atau 50 – 100 mm/hari
- d. Hujan sangat lebat : > 20 mm/hari atau >100 mm/hari

Suhu udara; menggambarkan tingkat panas atau dinginnya udara di suatu tempat yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain intensitas dan lama penyinaran matahari, sudut datang sinar matahari, keberadaan awan yang dapat menghambat radiasi, serta kondisi permukaan bumi (daratan dan lautan) yang memiliki kemampuan berbeda dalam menyerap dan melepaskan panas (Fadholi, 2016).

Kelembapan udara; merupakan salah satu besaran atmosfer yang menggambarkan perbandingan antara jumlah uap air yang terkandung di udara dengan kapasitas maksimum udara pada suhu tertentu, dinyatakan dalam persen (%). Tingkat kelembapan berpengaruh terhadap cepat atau lambatnya proses penguapan. Parameter ini juga digunakan sebagai indikator kandungan uap air di atmosfer (BMKG, 2019).

2. Variabel spasial

Menurut Sajeewan (2008) variabel spasial digunakan untuk menggambarkan posisi geografis suatu titik di permukaan bumi. variabel spasial dapat direpresentasikan oleh koordinat lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*). Lintang (*latitude*) adalah sudut yang dibentuk antara garis khatulistiwa dengan garis yang menghubungkan pusat bumi ke suatu lokasi di permukaan bumi, sedangkan bujur (*longitude*) adalah sudut yang dibentuk antara meridian utama di Greenwich dengan meridian yang melalui suatu titik lokasi. Kedua variabel ini digunakan secara bersamaan untuk menentukan letak geografis.

2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits

Kekeringan merupakan salah satu masalah lingkungan yang berdampak langsung pada kehidupan manusia, terutama pada sektor pertanian, ekonomi dan ketersediaan air bersih. Islam sebagai agama yang menyeluruh memandang bahwa segala fenomena alam, termasuk kekeringan, merupakan bagian dari tanda-tanda kebesaran Allah Swt. yang mengandung pelajaran bagi manusia untuk berpikir dan bertindak bijak dalam mengelola bumi. Dalam Al-Qur'an, air disebut sebagai sumber utama kehidupan yang menjadi rahmat dan anugerah dari Allah Swt. Firman-Nya dalam Q.S. An-Nahl ayat 10 sampai 11:

هُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً لَكُمْ مِنْهُ شَرَابٌ وَمِنْهُ شَجَرٌ فِيهِ تُسِيمُونَ ﴿١٠﴾ يُبْرِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعُ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلُ وَالْأَعْنَابُ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١١﴾

“Dialah yang menurunkan air hujan dari langit untuk kamu, sebagiannya menjadi minuman dan sebagiannya menyuburkan tumbuh-tumbuhan, yang padanya kamu menggembalakan ternakmu. Dengan air itu, Dia menumbuhkan untuk kamu tanam-tanaman, zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berpikir” (Q.S. An-Nahl:10-11).

Berdasarkan Tafsir Al-Misbah volume 6, ayat tersebut menggambarkan bahwa turunnya air dari langit adalah karunia besar yang membawa kehidupan dan kesejahteraan bagi manusia serta makhluk lainnya. Ketika hujan turun dengan teratur, berbagai jenis tanaman tumbuh subur, ekosistem menjadi seimbang, dan kehidupan manusia pun terjaga. Karena itulah, air dipandang sebagai nikmat yang sangat penting bagi keberlangsungan kehidupan (Shihab, 2002c). Namun, ketika hujan tidak turun atau terjadi ketidakseimbangan distribusi air, muncullah kekeringan yang mengancam kelangsungan hidup manusia dan makhluk lain sebagaimana firman Allah dalam Q.S. Az-Zukhruf ayat 11:

وَالَّذِي نَزَّلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً بِقَدَرٍ فَأَنْشَرْنَا بِهِ بَلْدَةً مَيْتًا كَذَلِكَ تُخْرَجُونَ ﴿١١﴾

“Dan yang menurunkan air dari langit menurut kadar (yang diperlukan), lalu Kami hidupkan dengan air itu negeri yang mati, demikianlah kamu akan dikeluarkan (dari kubur).” (Q.S. Az-Zukhruf:11).

Berdasarkan Tafsir Al-Misbah volume 8, ayat ini menegaskan bahwa turunnya air telah ditetapkan dengan ukuran yang sempurna oleh Allah Swt. Ketika keseimbangan itu terganggu, manusia dituntut untuk mengambil pelajaran dan melakukan usaha untuk memperbaiki keadaan. Dalam konteks modern, upaya mitigasi terhadap kekeringan dapat dipahami sebagai bentuk tanggung jawab manusia dalam menjaga keseimbangan alam yang telah Allah ciptakan dengan penuh perhitungan (Shihab, 2002d). Salah satu bentuk ikhtiar ilmiah dalam menghadapi fenomena kekeringan adalah dengan melakukan analisis spasial untuk mengetahui pola dan persebaran wilayah yang rawan terhadap kekeringan. Dalam penelitian ini digunakan metode SKATER untuk mengelompokkan daerah berdasarkan tingkat kerawannya terhadap kekeringan.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, tetapi juga sejalan dengan nilai-nilai Islam yang mendorong manusia untuk berpikir, meneliti, dan mengelola sumber daya alam dengan penuh tanggung jawab. Air yang melimpah adalah nikmat Allah yang harus dijaga, sedangkan kekeringan menjadi ujian agar manusia berusaha memperbaiki diri dan lingkungannya. Melalui pendekatan ilmiah seperti metode SKATER, manusia dapat berperan aktif dalam menjaga karunia Allah di bumi serta mewujudkan keseimbangan antara ilmu dan iman.

2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung

Organisasi Meteorologi Dunia (*World Meteorological Organization*) mendefinisikan kekeringan sebagai kondisi kekurangan presipitasi yang berlangsung dalam jangka waktu relatif lama dan terjadi secara terus-menerus. Berbeda dengan bencana alam lain yang umumnya memiliki batas awal dan akhir yang jelas, kekeringan sulit ditentukan secara pasti kapan bencana ini dimulai dan berakhir sehingga proses pemantauan, penanganan, dan mitigasi kekeringan sebagai tantangan tersendiri (Mishra & Singh, 2010).

Di Indonesia wilayah yang diwaspadai akan mengalami hari tanpa hujan berkepanjangan yang dapat menyebabkan kekeringan salah satunya yaitu Provinsi Nusa Tenggara Timur (BMKG, 2025). Karakteristik iklim NTT yang relatif kering, curah hujan yang rendah dan tidak merata, serta variasi suhu dan kelembapan udara yang cukup ekstrem menyebabkan wilayah ini rentan mengalami kekeringan berkepanjangan. Kondisi tersebut berdampak pada berbagai sektor, terutama pertanian, ketersediaan air bersih, dan ketahanan pangan masyarakat (Yuliatin, 2017). Oleh karena itu, diperlukan pemetaan dan pengelompokan wilayah berdasarkan tingkat kerawanan kekeringan agar upaya mitigasi dan perencanaan dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran.

Implementasi metode SKATER diawali dengan membangun *minimum spanning tree* (MST) dengan tujuan menghubungkan semua simpul (stasiun meteorologi) sehingga total jarak antar simpul minimum dan tidak membentuk siklus. Setiap simpul memiliki atribut curah hujan, suhu, dan kelembapan, sedangkan sisi (*edge*) menghubungkan stasiun yang berdekatan. Tingkat ketidakmiripan antar simpul diukur menggunakan jarak *Euclidean* berdasarkan

perbedaan nilai atribut, yaitu semakin kecil nilai jarak, semakin mirip kedua simpul. Proses MST dimulai dari simpul awal acak, kemudian secara berulang menambahkan sisi dengan jarak minimum yang menghubungkan simpul di dalam pohon ke simpul yang belum tergabung, hingga seluruh simpul terhubung membentuk MST. Jika terdapat sisi dengan jarak yang sama, aturan konsisten digunakan (misalnya urutan objek lokasi) agar hasil MST tetap konsisten. Setelah MST terbentuk, pohon dipartisi secara rekursif untuk membentuk K kluster dengan homogenitas tinggi terhadap variabel atribut. Setiap sisi MST menjadi kandidat pemotongan. Ketika sebuah sisi dipotong, MST terbagi menjadi dua subpohon, dan untuk masing-masing subpohon dihitung rata-rata setiap variabel untuk menggambarkan pusat karakteristik kluster. Berdasarkan rata-rata ini, nilai SSD dihitung untuk mengukur penyebaran nilai dalam kluster, semakin kecil SSD, semakin homogen kluster tersebut. Nilai kualitas partisi sementara $Q(\Pi)$ dihitung sebagai jumlah SSD dari kedua subpohon. Sisi yang menghasilkan $Q(\Pi)$ terkecil dipilih untuk dipotong terlebih dahulu, sehingga homogenitas kluster meningkat secara optimal. Proses ini diulang hingga banyak kluster mencapai K yang diinginkan (Assuncao dkk., 2006).

Setelah terbentuk beberapa kluster, kualitas dan jumlah kluster diuji menggunakan MANOVA dengan statistik uji *Pillai's Trace*. Nilai *Pillai's Trace* menunjukkan besarnya variasi antar kluster dibandingkan variasi dalam kluster. Dari nilai ini, diperoleh nilai F dan P -value untuk menilai signifikansi perbedaan antar kluster. Selanjutnya, perubahan *Pillai's Trace* dari satu kluster ke kluster berikutnya dianalisis, dan kluster yang menghasilkan perubahan nilai *Pillai's Trace* terbesar dipilih sebagai kluster optimal, karena perubahan nilai *Pillai's Trace*

terbesar menunjukkan perbedaan antar klaster yang paling optimal. Setelah klaster optimal diperoleh, dilakukan analisis karakteristik tiap klaster, penarikan kesimpulan, serta pemberian saran atau rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut (Kharisudin dkk., 2023). Dengan demikian, metode SKATER tidak hanya mempertimbangkan karakteristik atribut klimatologis, tetapi juga hubungan spasial antar lokasi, sehingga hasil klasterisasi dapat lebih representatif dalam mengidentifikasi zona rawan kekeringan di Provinsi Nusa Tenggara Timur.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan pendekatan spasial. Pendekatan kuantitatif dipilih karena data yang dianalisis berupa angka, seperti hasil pengukuran curah hujan, suhu, dan kelembapan udara serta titik koordinat geografis. Pendekatan spasial digunakan karena penelitian mempertimbangkan hubungan kedekatan antar objek lokasi dalam proses analisis. Pemilihan metode SKATER didasarkan pada kemampuannya dalam menggabungkan informasi atribut (seperti data klimatologi) dengan struktur spasial (hubungan geografis antar objek lokasi). Hal ini membuat metode SKATER sangat sesuai untuk membentuk klaster spasial yang mencerminkan zona rawan kekeringan secara lebih akurat. Pengelompokan wilayah dilakukan menggunakan metode SKATER dengan membangun *Minimum Spanning Tree* (MST) lalu mempartisi MST secara rekursif untuk menghasilkan klaster yang diinginkan. Kualitas klaster yang terbentuk kemudian dipilih menggunakan MANOVA dengan statistik uji *Pillai's Trace* untuk menentukan klaster yang optimal kemudian dievaluasi menggunakan DBI.

3.2 Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang terdiri dari data klimatologis yaitu data curah hujan, suhu, dan kelembapan udara, serta data spasial yaitu koordinat lintang dan bujur. Data diperoleh dari publikasi resmi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) bulan Januari tahun 2022 sampai bulan Desember Tahun 2025. Karena bentuk data harian dari 9 stasiun

meteorologi dengan rentang waktu 4 tahun sehingga total data ada 1460 data yang nantinya dirata-ratakan menjadi rata-rata periode untuk 4 tahun terhadap masing masing variabel, sehingga satu variabel memiliki satu nilai rata-rata periode, untuk contoh struktur data dapat dilihat pada Stasiun Mali dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Contoh Struktur Data di Stasiun Mali

Tanggal	Curah hujan (mm)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Lintang (°(Derajat desimal))	Bujur (°(Derajat desimal))
01-01-2017	3.4	29.7	75	-8.13471	124.59000
02-01-2017	0.7	29.3	77	-8.13471	124.59000
03-01-2017	-	29.5	74	-8.13471	124.59000
04-01-2017	8888	29.5	73	-8.13471	124.59000
05-01-2017	0	29.8	76	-8.13471	124.59000
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
26-01-2017	2.9	29	80	-8.13471	124.59000
27-01-2017	8888	29.3	78	-8.13471	124.59000
28-01-2017	5.6	27	91	-8.13471	124.59000
29-01-2017	55.4	26.9	89	-8.13471	124.59000
30-01-2017	1.6	27.4	88	-8.13471	124.59000

Berdasarkan keterangan dari BMKG, Nilai yang tercatat 8888 menunjukkan data tidak terukur, sedangkan (–) berarti tidak ada data karena pengukuran tidak dilakukan. Oleh karena itu, kedua nilai tersebut diperlakukan sebagai *missing value*. Kemudian untuk data peta batas administratif Provinsi Nusa Tenggara Timur diperoleh dari *Global Administrative Areas (GADM)*.

3.3 Lokasi Penelitian

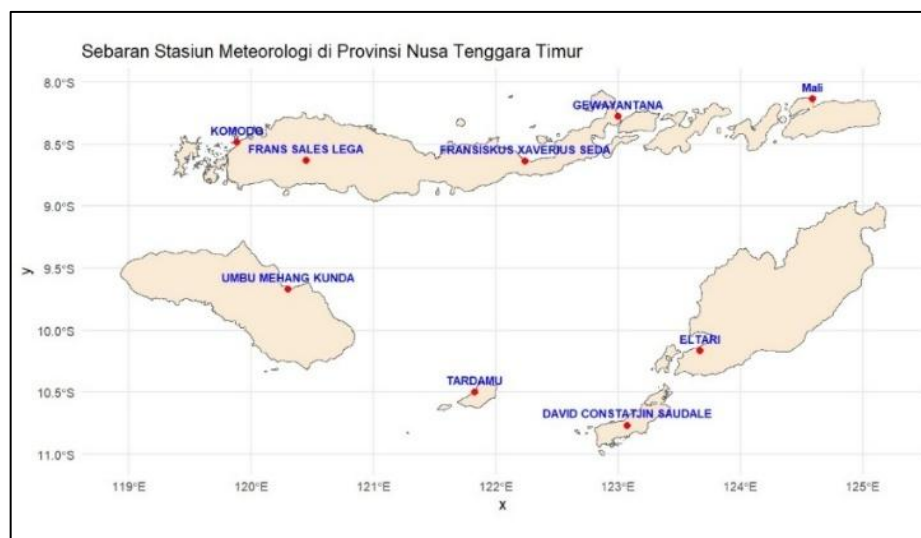
Lokasi penelitian mencakup seluruh stasiun meteorologi yang terdapat di wilayah Provinsi Nusa Tenggara Timur yang terdiri dari 9 stasiun meteorologi dari

9 Kabupaten/Kota di Nusa Tenggara Timur, stasiun meteorologi ini yang dijadikan sebagai objek lokasi untuk analisis penerapan metode SKATER, daftar stasiun meteorologi dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Daftar Stasiun Meteorologi di Nusa Tenggara Timur

No.	ID Stasiun	Nama Stasiun	Kabupaten/Kota
1.	M_1	Mali	Kab. Alor
2.	M_2	Gewayantana	Kab. Flores Timur
3.	M_3	Fransiskus Xaverius Seda	Kab. Sikka
4.	M_4	Frans Sales Lega	Kab. Manggarai
5.	M_5	Komodo	Kab. Manggarai Barat
6.	M_6	Umbu Mehang Kunda	Kab. Sumba Timur
7.	M_7	Tardamu	Kab. Kupang
8.	M_8	David Constatjin Saudale	Kab. Rote Ndao
9.	M_9	Eltari	Kota Kupang

Untuk sebaran stasiun meteorologi di Nusa Tenggara Timur dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta Sebaran Stasiun Meteorologi di Nusa Tenggara Timur

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara mengunduh data sekunder dari publikasi resmi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dari bulan Januari tahun 2022 sampai bulan Desember tahun

2025. Adapun data peta batas administratif Provinsi Nusa Tenggara Timur diperoleh dari *Global Administrative Areas* (GADM). Seluruh data yang telah terkumpul kemudian diolah dan disesuaikan formatnya agar dapat digunakan dalam proses analisis spasial dengan metode SKATER.

3.5 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat 5 variabel dimana 3 variabel berfungsi sebagai atribut klasterisasi yang nantinya digunakan pada analisis klaster dan 2 variabel lainnya sebagai atribut spasial yang nantinya digunakan pada uji efek spasial. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Variabel Penelitian

Variabel	Data	Satuan	Fungsinya
X_1	Curah Hujan	mm	Atribut Klasterisasi
X_2	Suhu	°C	
X_3	Kelembapan	%	
X_4	Lintang (<i>Latitude</i>)	°(Derajat desimal)	Atribut Spasial
X_5	Bujur (<i>Longitude</i>)		

3.6 Teknik Analisis Data

Langkah analisis dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. *Preprocessing* Data

Data klimatologi yang digunakan dalam penelitian ini berupa data harian selama 4 tahun. Pada data tersebut terdapat nilai yang termasuk ke dalam kategori *missing value*. Untuk penanganannya menggunakan interpolasi linier dengan Persamaan (2.1).

2. Statistika Deskriptif

a. Agregasi Data

Menghitung rata-rata bulanan dari data harian variabel Curah Hujan (X_1), Suhu (X_2), dan Kelembapan (X_3). Kemudian menghitung rata-rata tahunan, selanjutnya menghitung rata-rata periode, sehingga setiap objek lokasi memiliki satu nilai rata-rata untuk masing-masing variabel periode 2022 sampai 2025 dengan Persamaan (2.2).

b. Sebaran Stasiun Meteorologi

Memberikan gambaran terkait lokasi penelitian.

c. Rata-Rata dan Standar Deviasi

Menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi dari variabel X_1, X_2, X_3 dengan Persamaan (2.2) dan (2.3). Tahap ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum karakteristik data secara numerik.

3. Standardisasi Data

Melakukan standardisasi data terhadap variabel X_1, X_2, X_3 menggunakan *Z-score standardization* dengan Persamaan (2.4). Tujuannya untuk menyeragamkan skala data, sehingga masing-masing variabel dapat dibandingkan secara proporsional.

4. Penerapan Metode SKATER

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengelompokan menggunakan metode SKATER dengan langkah sebagai berikut:

a. Membangun *Minimum Spanning Tree* (MST)

Sebelum membangun MST, terlebih dahulu dibentuk struktur graf ketetanggaan menggunakan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN).

Metode KNN digunakan untuk menentukan objek lokasi yang saling bertetangga berdasarkan jarak *Euclidean* Lintang (X_4) dan Bujur (X_5) . Pembentukan graf ketetanggaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap objek lokasi memiliki keterhubungan spasial dengan objek lokasi di sekitarnya. Graf ketetanggaan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pembentukan MST. Langkah-langkah pembangunan MST sebagai berikut:

- i. Setiap objek lokasi direpresentasikan sebagai simpul (*node*), sedangkan hubungan antar objek lokasi yang berdekatan direpresentasikan sebagai sisi (*edge*). Setiap simpul memiliki nilai atribut klasterisasi, yaitu Curah Hujan (X_1), Suhu (X_2), dan Kelembapan (X_3), yang digunakan untuk menilai tingkat ketidakmiripan antar simpul.
- ii. Untuk setiap pasangan simpul, dihitung jarak *Euclidean* berdasarkan perbedaan nilai atribut klasterisasi dengan persamaan (2.5). Nilai jarak ini menunjukkan tingkat ketidakmiripan antar simpul. Semakin kecil nilainya maka semakin mirip kedua simpul tersebut.
- iii. Algoritma menghapus sisi-sisi yang mempunyai nilai *Euclidean* lebih besar dari sisi lainnya dalam struktur graf KNN, terutama dalam struktur graf KNN yang membentuk siklus .
- iv. Proses menghapus sisi diulangi hingga seluruh simpul telah terhubung dan jumlah sisi mencapai satu kurang dari jumlah simpul, maka terbentuk MST. Struktur ini menghubungkan semua

simpul dengan total jarak keseluruhan paling minimum tanpa ada siklus.

b. Partisi MST

Setelah MST terbentuk, tahap selanjutnya adalah mempartisi MST menjadi beberapa klaster. Proses ini menghasilkan klaster yang memiliki homogenitas tinggi pada variabel di dalamnya. Proses partisi dilakukan secara rekursif dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- i. Mulai dari MST utuh sebagai satu pohon tunggal yang mencakup semua simpul. Banyak klaster yang diinginkan ditentukan sebanyak K . Setiap sisi dalam MST menjadi kandidat pemotongan. Ketika suatu sisi dipotong, MST terbagi menjadi dua subpohon baru. Untuk masing-masing subpohon, dihitung nilai rata-rata tiap variabel dengan persamaan (2.8). Nilai rata-rata ini mencerminkan pusat karakteristik masing-masing klaster.
- ii. Berdasarkan nilai rata-rata tersebut, dilakukan perhitungan SSD untuk masing-masing subpohon dengan persamaan (2.7). SSD menggambarkan tingkat penyebaran nilai variabel di dalam klaster, semakin kecil nilai SSD, semakin homogen klaster tersebut.
- iii. Selanjutnya, dihitung nilai kualitas partisi $Q(I)$ sebagai jumlah seluruh SSD dari kedua subpohon hasil pemotongan dengan persamaan (2.6). Sisi yang menghasilkan nilai $Q(I)$ terkecil dipilih untuk dipotong terlebih dahulu, karena pemotongan tersebut memberikan homogenitas klaster paling optimal.

- iv. Proses ini diulang secara rekursif pada pohon-pohon yang tersisa. Pada setiap iterasi, selalu dipilih sisi yang memberikan penurunan $Q(\Pi)$ terbesar, hingga banyak klaster mencapai K yang diinginkan. Karena semakin kecil nilai $Q(\Pi)$, maka semakin baik partisinya.

5. Pemilihan Klaster Optimal

Setelah terbentuk beberapa klaster, dilakukan pemilihan klaster optimal menggunakan MANOVA dengan statistik uji *Pillai's Trace* menggunakan Persamaan (2.9). Nilai ini menunjukkan seberapa besar variasi antar klaster dibandingkan variasi dalam klaster. Dipilih klaster optimal pada K klaster yang menghasilkan nilai *Pillai's Trace* terbesar dan $P - Value$ kurang dari α , karena itu menunjukkan semakin jelas perbedaan antar klaster, semakin optimal kualitas klaster tersebut.

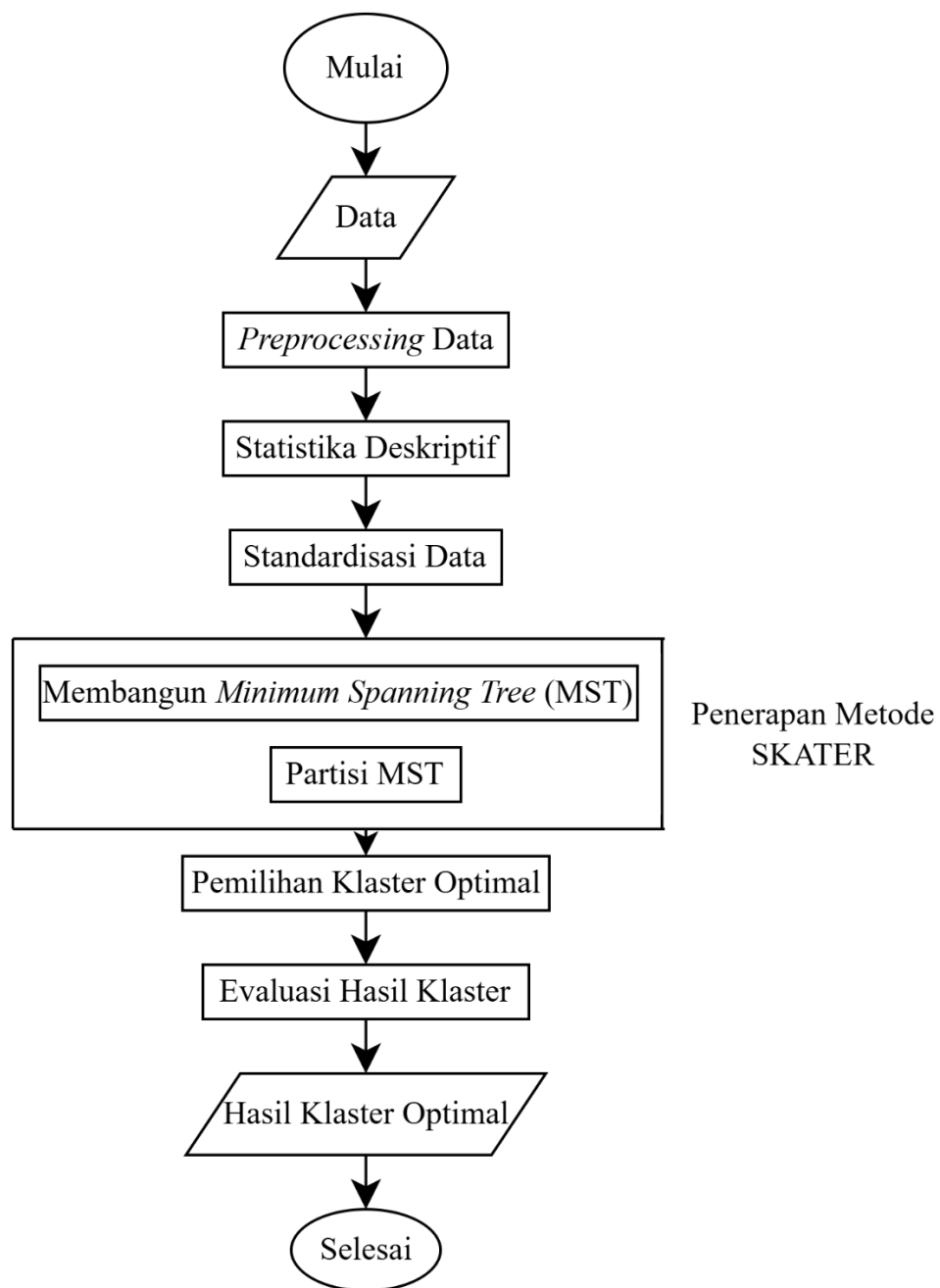
6. Evaluasi Hasil Klaster Optimal

Hasil pengelompokan dievaluasi menggunakan *Davies-Bouldin Index* (DBI) dengan kriteria bahwa nilai DBI yang lebih kecil menunjukkan kualitas klaster yang lebih baik. Evaluasi menggunakan Persamaan (2.10) dan (2.11).

7. Hasil klaster Optimal

Setelah seluruh tahapan selesai maka didapat klaster optimal, Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan menarik kesimpulan, serta memberikan saran atau rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.

Langkah-langkah penerapan metode SKATER yang telah dijelaskan sebelumnya dapat digambarkan melalui diagram alir penelitian pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Preprocessing Data*

Preprocessing data pada penelitian ini yaitu penanganan *missing value* agar analisis tidak mengurangi ukuran sampel dan menimbulkan bias. Data yang digunakan dalam penelitian berupa data harian curah hujan, suhu dan kelembapan udara dalam rentang waktu Januari 2022 sampai Desember 2025, dengan total 1460 data. Berdasarkan keterangan dari BMKG, Nilai yang tercatat 8888 menunjukkan data tidak terukur, sedangkan (–) berarti tidak ada data karena pengukuran tidak dilakukan. Oleh karena itu, kedua nilai tersebut diperlakukan sebagai *missing value*. Data aktual diolah terlebih dahulu untuk ditangani *missing value* dengan interpolasi linier menggunakan Persamaan (2.1). Sebagai contoh data aktual pada Stasiun Meteorologi Gawayantana bulan Januari tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.1. *Missing value* ditandai dengan warna merah.

Tabel 4.1 Data Stasiun Gawayantana Bulan Januari Tahun 2022

Tanggal	Curah Hujan (mm) (X_1)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$) (X_2)	Kelembapan (%) (X_3)	Tanggal	Curah Hujan (mm) (X_1)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$) (X_2)	Kelembapan (%) (X_3)
01/01/2022	25.1	26.5	91	17/01/2022	3.9	27.7	84
02/01/2022	28.5	28	84	18/01/2022	1.8	27.9	87
03/01/2022	8.8	27.4	89	19/01/2022	11	26.8	90
04/01/2022	16.5	27.1	87	20/01/2022	11.2	27.3	79
05/01/2022	36.7	26.2	95	21/01/2022	2	27.3	85
06/01/2022	12.5	28	85	22/01/2022	16	27.6	86
07/01/2022	0	28.1	84	23/01/2022	3.2	28.5	82
08/01/2022	0	26.8	86	24/01/2022	8888	27.8	88
09/01/2022	20.8	28.4	83	25/01/2022	15.4	28.4	87
10/01/2022	2	27.8	83	26/01/2022	10.4	28.5	85
11/01/2022	0	27.7	86	27/01/2022	8888	-	-
12/01/2022	0	28.7	84	28/01/2022	12.1	27.3	89
13/01/2022	8888	28.4	85	29/01/2022	4.4	27.4	86
14/01/2022	7.2	28.7	86	30/01/2022	5.6	28.2	84
15/01/2022	7	27.8	84	31/01/2022	4.8	27.7	88
16/01/2022	15.3	28	84				

Sebagai contoh perhitungan interpolasi linier pada Stasiun Meteorologi Gewayantana, hari ke-13 yaitu tanggal 13 Januari 2022 nilai variabel Curah Hujan (X_1) 8888 yang berarti *missing value*. Nilai hari ke-12 adalah 0 mm, nilai hari ke-14 adalah 7.2. Maka dapat ditulis, $p = 13$, $p_1 = 12$, $p_2 = 14$, $x_{1_{12}1} = 0$ mm, $x_{1_{14}1} = 7.2$ mm.

Substitusi nilai ke dalam Persamaan (2.1):

$$x_{1_{13}1} = x_{1_{12}1} + \frac{p - p_1}{p_2 - p_1} (x_{1_{14}1} - x_{1_{12}1})$$

$$x_{1_{13}1} = 0 + \frac{13 - 12}{14 - 12} (7.2 - 0)$$

$$x_{1_{13}1} = 0 + \frac{1}{2} (7.2)$$

$$x_{1_{13}1} = 3.6,$$

jadi nilai dari Curah Hujan (X_1) pada tanggal 13 Januari 2022 adalah 3.6 mm.

Tabel 4.2 Data Stasiun Gewayantana Bulan Januari Tahun 2022 setelah Interpolasi Linier

Tanggal	Curah Hujan (mm) (X_1)	Suhu ($^{\circ}C$) (X_2)	Kelembapan (%) (X_3)	Tanggal	Curah Hujan (mm) (X_1)	Suhu ($^{\circ}C$) (X_2)	Kelembapan (%) (X_3)
01/01/2022	25.1	26.5	91	17/01/2022	3.9	27.7	84
02/01/2022	28.5	28	84	18/01/2022	1.8	27.9	87
03/01/2022	8.8	27.4	89	19/01/2022	11	26.8	90
04/01/2022	16.5	27.1	87	20/01/2022	11.2	27.3	79
05/01/2022	36.7	26.2	95	21/01/2022	2	27.3	85
06/01/2022	12.5	28	85	22/01/2022	16	27.6	86
07/01/2022	0	28.1	84	23/01/2022	3.2	28.5	82
08/01/2022	0	26.8	86	24/01/2022	9.3	27.8	88
09/01/2022	20.8	28.4	83	25/01/2022	15.4	28.4	87
10/01/2022	2	27.8	83	26/01/2022	10.4	28.5	85
11/01/2022	0	27.7	86	27/01/2022	11.25	27.9	87
12/01/2022	0	28.7	84	28/01/2022	12.1	27.3	89
13/01/2022	3.6	28.4	85	29/01/2022	4.4	27.4	86
14/01/2022	7.2	28.7	86	30/01/2022	5.6	28.2	84
15/01/2022	7	27.8	84	31/01/2022	4.8	27.7	88
16/01/2022	15.3	28	84				

Hasil interpolasi linier di Stasiun Meteorologi Gewayantana bulan Januari tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.2 yang ditandai dengan warna biru. Setelah seluruh data aktual ditangani *missing value* menggunakan interpolasi linier, tahap selanjutnya adalah statistika deskriptif untuk mengeksplorasi data serta mengidentifikasi pola-pola yang muncul, sehingga dapat digunakan untuk memahami karakteristik data.

4.2 Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif yang digunakan pada penelitian ini diantaranya agregasi data, sebaran objek lokasi dan perhitungan rata-rata serta standar deviasi.

1. Agregasi Data

Berdasarkan pada ketentuan *World Meteorological Organization* (WMO), untuk menghitung nilai rata-rata yaitu dihitung dari rata-rata bulanan kemudian dirata-ratakan tahunan, selanjutnya baru dirata-ratakan periode yaitu nilai tahunan 2022 sampai 2025. Pendekatan agregasi dilakukan agar hasil rata-rata yang digunakan dalam analisis pengelompokan SKATER merepresentasikan kondisi iklim yang stabil dalam satuan waktu yang lebih panjang, mengurangi pengaruh fluktuasi harian yang bersifat acak, serta sesuai dengan prinsip pengolahan data klimatologis menurut WMO. Tahapan agregasi data dilakukan sebagai berikut:

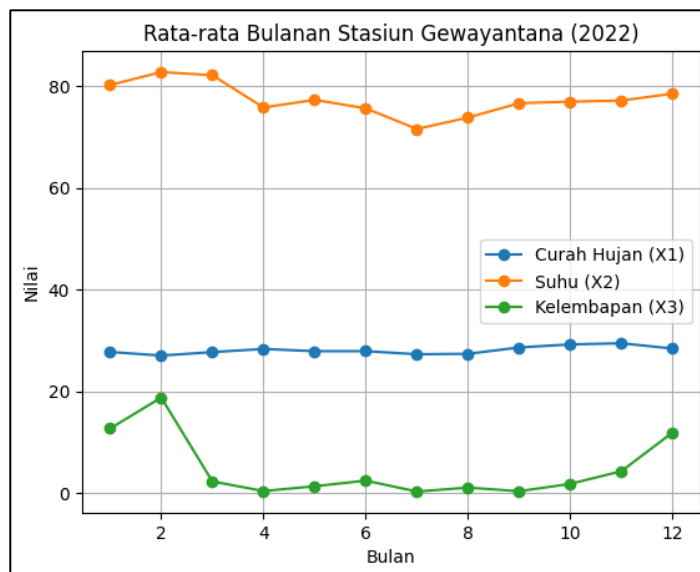
a. Rata-rata Bulanan

Nilai rata-rata bulanan diperoleh dengan menjumlahkan seluruh data harian dalam satu bulan, kemudian dibagi dengan jumlah hari pengamatan pada bulan tersebut menggunakan persamaan (2.2).

Sebagai contoh nilai rata-rata bulanan Stasiun Gewayantana tahun 2022 disajikan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.3 Nilai Rata-Rata Bulanan Stasiun Gewayantana Tahun 2022

Bulan	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
1	27.7050	80.2333	12.6366
2	27.0000	82.7857	18.7375
3	27.6795	82.1666	2.2380
4	28.3035	75.8214	0.3392
5	27.8633	77.3166	1.2854
6	27.8683	75.6500	2.3900
7	27.2568	71.5862	0.2466
8	27.3446	73.8392	1.0178
9	28.5947	76.6642	0.3142
10	29.1933	76.9666	1.7483
11	29.4187	77.1875	4.2446
12	28.3783	78.5370	11.8566



Gambar 4.1 Rata-Rata Bulanan Stasiun Gewayantana Tahun 2022

Berdasarkan Gambar 4.1, grafik rata-rata bulanan Stasiun Gewayantana tahun 2022, terlihat bahwa Suhu (X_2) cenderung menjadi variabel yang paling stabil dengan kisaran nilai relatif tinggi, yaitu sekitar 71–83, di mana suhu mencapai puncaknya pada bulan Februari sampai Maret dan mengalami penurunan pada pertengahan tahun sekitar bulan Juli,

sebelum kembali meningkat hingga akhir tahun. Sementara itu, Curah Hujan (X_1) menunjukkan fluktuasi yang lebih kecil dibandingkan kelembapan, dengan nilai berkisar antara 27–30, relatif stabil sepanjang tahun namun sedikit meningkat pada periode Oktober sampai November. Di sisi lain, Kelembapan (X_3) memperlihatkan variasi dengan nilai cukup tinggi pada awal tahun terutama bulan Februari, kemudian menurun drastis hingga mendekati nol pada pertengahan tahun sekitar bulan April sampai September, dan kembali meningkat pada akhir tahun. Pola ini mengindikasikan adanya kecenderungan musim kering pada pertengahan tahun yang ditandai dengan rendahnya kelembapan, sementara awal dan akhir tahun menunjukkan kondisi yang lebih lembap, yang sejalan dengan pola iklim musiman di wilayah tersebut.

b. Rata-rata Tahunan

Jika sudah menghitung nilai rata-rata bulanan untuk semua stasiun meteorologi, langkah selanjutnya menghitung rata-rata tahunan. Sebagai contoh nilai rata-rata tahunan dari Stasiun Gewayantana dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.2, untuk lebih lengkapnya 9 stasiun meteorologi tercantum pada Lampiran 2.

Tabel 4.4 Nilai Rata-Rata Tahunan Stasiun Gewayantana

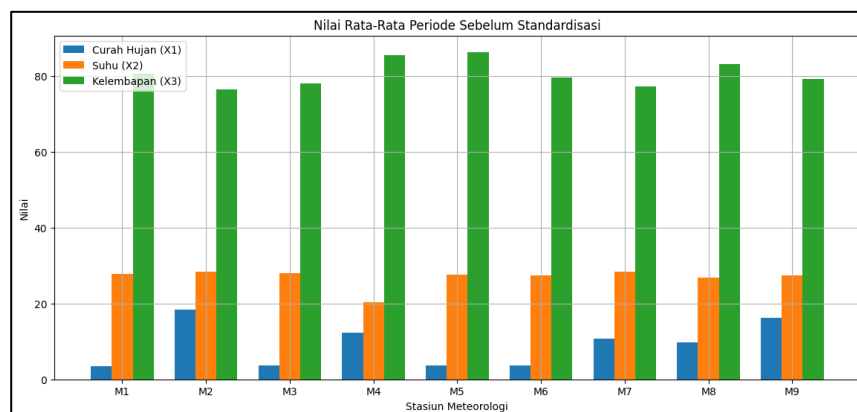
Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	4.7546	28.0505	77.3962
2023	4.2635	27.8504	76.2669
2024	32.3285	28.9204	75.9657
2025	31.9591	28.8674	76.2573

c. Rata-rata Periode (2022–2025)

Jika sudah menghitung nilai rata-rata tahunan untuk semua stasiun meteorologi, langkah selanjutnya menghitung rata-rata periode yaitu nilai rata-rata dari tahun 2022 sampai 2025. Nilai rata-rata periode untuk 9 stasiun meteorologi sebelum standardisasi dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.5 Nilai Rata-Rata Periode Sebelum Standardisasi (x_{ij})

Stasiun Meteorologi	Curah Hujan (X_1) (mm)	Suhu (X_2) ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembapan (X_3) (%)
Mali	3.5555	27.8736	80.5429
Gewayantana	18.3264	28.4222	76.4715
Fransiskus Xaverius Seda	3.7322	28.0432	78.0061
Frans Sales Lega	12.3293	20.3569	85.5255
Komodo	3.6684	27.5866	86.2897
Umbu Mehang Kunda	3.5913	27.4441	79.5449
Tardamu	10.8053	28.3804	77.2068
David Constatjin Saudale	9.8438	26.8959	83.0752
Eltari	16.2324	27.4575	79.2138



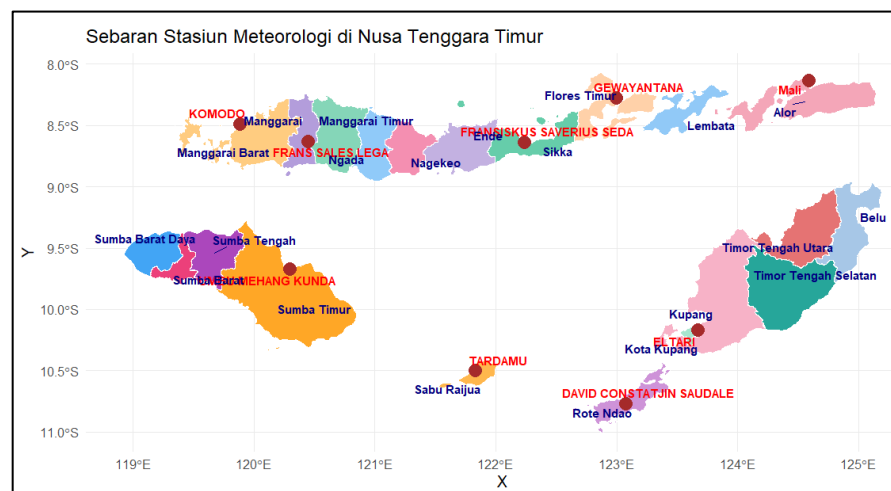
Gambar 4.2 Rata-Rata Periode Sebelum Standardisasi

Berdasarkan Gambar 4.2, grafik rata-rata periode 2022–2025 antar stasiun, terlihat adanya variasi karakteristik iklim yang cukup jelas pada setiap stasiun pengamatan. Curah hujan menunjukkan perbedaan, di mana stasiun seperti M_2 dan M_9 memiliki nilai relatif lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya, sementara beberapa stasiun seperti M_1 , M_3 , M_5 dan M_6 menunjukkan nilai curah hujan yang rendah. Hal ini mengindikasikan adanya ketidakmerataan distribusi hujan antar wilayah. Sementara itu, suhu cenderung lebih homogen di seluruh stasiun, dengan kisaran nilai yang tidak terlalu jauh berbeda (sekitar 27–29), meskipun terdapat satu stasiun yaitu M_4 yang memiliki suhu lebih rendah dibandingkan yang lain.

Di sisi lain, kelembapan berada pada nilai tinggi di seluruh stasiun (sekitar 75–87), dengan variasi yang relatif kecil dibandingkan curah hujan, namun tetap menunjukkan bahwa beberapa stasiun seperti M_4 dan M_5 memiliki tingkat kelembapan yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, perbedaan antar stasiun paling dominan ditunjukkan oleh variabel curah hujan, sedangkan suhu dan kelembapan cenderung lebih stabil, sehingga dapat menjadi indikator bahwa faktor spasial lebih berpengaruh terhadap distribusi curah hujan dibandingkan variabel iklim lainnya. Nilai rata-rata periode pada masing-masing stasiun meteorologi selanjutnya digunakan sebagai data dasar dalam perhitungan statistika deskriptif, yaitu rata-rata keseluruhan dan standar deviasi antar stasiun meteorologi.

2. Sebaran Objek Lokasi

Secara geografis, 9 stasiun meteorologi tersebar di beberapa pulau utama di Provinsi Nusa Tenggara Timur, yaitu Pulau Flores, Pulau Sumba, Pulau Timor, Pulau Alor, dan Pulau Rote. Penyebaran ini menunjukkan bahwa cakupan objek lokasi penelitian mewakili wilayah kepulauan dengan karakteristik topografi dan kondisi geografis yang beragam. Setiap stasiun meteorologi berfungsi sebagai representasi kondisi klimatologis lokal pada wilayah sekitarnya (*influence area*), bukan hanya titik tunggal yang berdiri sendiri. Oleh karena itu, 9 stasiun meteorologi tersebut cukup representatif sebagai dasar pembentukan zona rawan kekeringan, karena telah mencakup sebaran geografis wilayah NTT. Perbedaan posisi lintang dan bujur berpotensi menimbulkan variasi karakteristik iklim antar stasiun, sehingga deskripsi sebaran stasiun meteorologi dan koordinat geografis menjadi penting sebagai gambaran awal sebelum dilakukan analisis lebih lanjut terhadap karakteristik klimatologis.



Gambar 4.3 Sebaran Stasiun Meteorologi di Nusa Tenggara Timur

Berdasarkan Gambar 4.3, penggunaan 9 stasiun meteorologi dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk merepresentasikan seluruh wilayah Nusa Tenggara Timur secara titik-per-titik, melainkan sebagai *node* pengamatan spasial yang mewakili variasi kondisi klimatologis antarwilayah di provinsi tersebut. Hal ini sejalan dengan prinsip dalam analisis spasial, bahwa titik yang terlokalisasi secara geografis dapat direpresentasikan melalui koordinat lintang dan bujur. Informasi koordinat tersebut memungkinkan pengelompokan pengamatan ke dalam klaster spasial yang bersifat kontinu dan mencakup seluruh titik yang dianalisis. Pendekatan ini tidak hanya digunakan dalam kajian lingkungan, tetapi juga telah diterapkan pada berbagai konteks seperti fasilitas pendidikan, layanan pos, pusat perbelanjaan, hingga segmentasi wilayah pemasaran (Kopczewska, 2022).

Secara koordinat geografis, seluruh stasiun berada pada rentang lintang sekitar 8°LS hingga 11°LS dan bujur 119°BT hingga 125°BT . Daftar koordinat geografis dari 9 stasiun meteorologi di Nusa Tenggara Timur dapat dilihat pada Tabel 4.6. Berdasarkan Tabel 4.6, Seluruh stasiun meteorologi yang digunakan dalam penelitian ini tersebar di wilayah Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan rentang lintang antara -8.13° hingga -10.76° dan rentang bujur antara 119.88° hingga 124.59° . Seluruh nilai lintang bernilai negatif, yang menunjukkan bahwa seluruh stasiun meteorologi berada di belahan bumi Selatan, yaitu di selatan garis khatulistiwa 0° . Secara geografis, semakin besar nilai negatif lintang maka posisi lokasi tersebut semakin ke arah selatan. Dengan demikian, stasiun

yang memiliki lintang mendekati -11° terletak lebih selatan dibandingkan stasiun dengan lintang mendekati -8° .

Tabel 4.6 Daftar Koordinat Geografis Stasiun Meteorologi di NTT

No.	Nama Stasiun Meteorologi	Kabupaten/Kota	Lintang ($^\circ$ (Derajat desimal))	Bujur ($^\circ$ (Derajat desimal))
1.	Mali	Kab. Alor	-8.13471	124.59000
2.	Gewayantana	Kab. Flores Timur	-8.27520	122.99860
3.	Fransiskus Xaverius Seda	Kab. Sikka	-8.63577	122.23752
4.	Frans Sales Lega	Kab. Manggarai	-8.63000	120.45000
5.	Komodo	Kab. Manggarai Barat	-8.48673	119.88683
6.	Umbu Mehang Kunda	Kab. Sumba Timur	-9.66944	120.29972
7.	Tardamu	Kab. Kupang	-10.50000	121.83000
8.	David Constatjin Saudale	Kab. Rote Ndao	-10.76662	123.07395
9.	Eltari	Kota Kupang	-10.16780	123.67039

Sementara itu, nilai bujur yang berada pada kisaran 119° hingga 125° Bujur Timur menunjukkan bahwa wilayah penelitian membentang dari bagian barat hingga timur Provinsi Nusa Tenggara Timur. Rentang koordinat tersebut menunjukkan bahwa lokasi penelitian membentang dari wilayah barat ke timur dan dari utara ke selatan dalam sistem kepulauan yang terpisah oleh perairan. Kondisi ini mengindikasikan adanya potensi variasi karakteristik iklim akibat perbedaan posisi geografis, kedekatan terhadap laut, serta perbedaan kondisi topografi antar pulau.

3. Perhitungan Rata-Rata dan Standar Deviasi

Rata-rata dari variabel Curah hujan (X_1), Suhu (X_2), dan Kelembapan (X_3) dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai pengamatan pada variabel masing-masing, kemudian dibagi dengan jumlah stasiun pengamatan ($n = 9$) menggunakan Persamaan (2.2). Untuk standar deviasi

menggunakan Persamaan (2.3). Hasil perhitungan nilai rata-rata dan standar deviasi dari 9 stasiun meteorologi dengan bantuan *software* RStudio dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Statistika Deskriptif dari 9 Stasiun Meteorologi

Variabel	Rata-Rata	Standar Deviasi
Curah hujan (X_1) (mm)	9.1204	5.8018
Suhu (X_2) ($^{\circ}C$)	26.9400	2.5159
Kelembapan (X_3) (%)	80.6529	3.5544

Berdasarkan Tabel 4.7, variabel Curah hujan (X_1) memiliki nilai rata-rata sebesar 9.1204 mm dengan standar deviasi 5.8018. Nilai standar deviasi yang paling besar menunjukkan bahwa nilai curah hujan antar stasiun meteorologi memiliki penyebaran data yang tinggi. Variabel Suhu (X_2) memiliki nilai rata-rata sebesar $26.94^{\circ}C$ dengan standar deviasi 2.5159. Nilai standar deviasi yang paling kecil menunjukkan bahwa data suhu antar stasiun meteorologi memiliki penyebaran yang rendah dibandingkan variabel curah hujan dan kelembapan. Sementara itu, variabel Kelembapan (X_3) memiliki nilai rata-rata sebesar 80.6529% dengan standar deviasi 3.5544, yang menunjukkan bahwa data kelembapan antar stasiun meteorologi memiliki penyebaran sedang.

Secara keseluruhan, hasil statistika deskriptif menunjukkan bahwa ketiga variabel memiliki tingkat penyebaran data yang berbeda, dengan curah hujan sebagai variabel dengan penyebaran tertinggi. Perbedaan skala dan variasi ini berpotensi menyebabkan variabel dengan variasi lebih besar mendominasi perhitungan jarak dalam analisis kluster. Oleh karena itu, diperlukan proses standardisasi data agar seluruh variabel berada pada skala

yang seragam, sehingga masing-masing variabel dapat memberikan kontribusi yang proporsional dalam tahap analisis selanjutnya.

4.3 Standardisasi Data

Pada penelitian ini akan dilakukan standardisasi data menggunakan *Z-score standarditation*. Data hasil standardisasi menggunakan *Z-score* akan menghasilkan nilai untuk setiap variabel dengan rata-rata adalah nol dan simpangan baku satu. Sebagai contoh, perhitungan standardisasi pada Stasiun Meteorologi Gewayantana pada variabel Curah hujan (X_1) menggunakan Persamaan (2.4). Diketahui pada Tabel 4.1 nilai Curah Hujan (X_1) adalah 3.555, dan nilai rata-rata Curah Hujan (X_1) pada Tabel 4.7 adalah 9.1204. Maka substitusikan nilai tersebut pada Persamaan (2.4):

$$\begin{aligned} x'_{11} &= \frac{x_{11} - \bar{x}_1}{s_1} \\ &= \frac{3.555 - 9.1204}{5.8018} \\ &= -0.9592, \end{aligned}$$

Hasil lengkap standardisasi data untuk seluruh stasiun meteorologi disajikan pada Tabel 4.8. Untuk memudahkan bisa menggunakan bantuan *software* RStudio, dapat dilihat pada script Lampiran 3. Berdasarkan Tabel 4.8, terlihat bahwa nilai hasil standardisasi tersebar di sekitar nol. Nilai positif menunjukkan bahwa suatu stasiun memiliki karakteristik di atas rata-rata pada variabel tersebut, sedangkan nilai negatif menunjukkan kondisi di bawah rata-rata. Pada variabel Curah Hujan Stasiun Gewayantana dan Eltari memiliki nilai *Z-score* positif terbesar, yang menunjukkan curah hujan relatif lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya.

Tabel 4.8 Nilai Rata-Rata Periode Setelah Standardisasi (x'_{ij})

Stasiun Meteorologi	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
Mali	-0.9592	0.3710	-0.0309
Gewayantana	1.5867	0.5891	-1.1764
Fransiskus Xaverius Seda	-0.9287	0.4384	-0.7447
Frans Sales Lega	0.5530	-2.6165	1.3709
Komodo	-0.9397	0.2569	1.5859
Umbu Mehang Kunda	-0.9529	0.2003	-0.3117
Tardamu	0.2904	0.5724	-0.9695
David Constatjin Saudale	0.1246	-0.0175	0.6815
Eltari	1.2258	0.2056	-0.4049

Sebaliknya, Stasiun Mali, Komodo, Fransiskus Xaverius Seda dan Umbu Mehang Kunda memiliki nilai *Z-score* negatif, yang menandakan curah hujan lebih rendah dari rata-rata stasiun lainnya. Untuk variabel Suhu, Stasiun Frans Sales Lega memiliki nilai *Z-score* paling rendah, yang menunjukkan suhu rata-rata jauh di bawah stasiun lainnya. Sementara itu, sebagian besar stasiun memiliki nilai *Z-score* positif kecil, yang menandakan suhu berada di sekitar atau sedikit di atas rata-rata. Pada variabel Kelembapan, Stasiun Komodo dan Frans Sales Lega menunjukkan nilai *Z-score* positif tinggi, yang berarti tingkat kelembapan relatif lebih tinggi. Sebaliknya, Stasiun Gewayantana dan Tardamu memiliki nilai *Z-score* negatif yang cukup besar, yang mengindikasikan kelembapan relatif lebih rendah. Secara keseluruhan, hasil standardisasi ini memastikan bahwa ketiga variabel memiliki skala yang sebanding sehingga dapat digunakan secara proporsional dalam analisis kluster spasial selanjutnya.

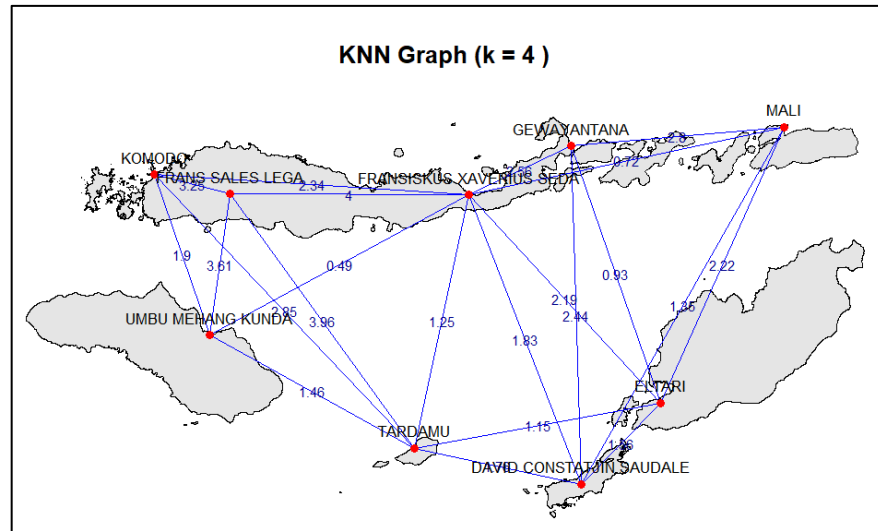
4.4 Penerapan Metode SKATER

1. Membangun *Minimum Spanning Tree* (MST)

Sebelum membangun MST, dilakukan pembentukan graf ketetanggaan menggunakan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN). Griffith (1996) dalam

artikel Getis dan Aldstadt (2004) menyatakan bahwa spesifikasi ketetanggaan dengan jumlah tetangga antara empat hingga enam memberikan representasi struktur spasial yang lebih baik dibandingkan jumlah tetangga yang kurang dari empat maupun lebih dari enam. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap beberapa nilai KNN, yaitu 2, 3, 4, dan 5. Pemilihan KNN terbaik didasarkan pada evaluasi kualitas klaster menggunakan *Davies-Bouldin Index* (DBI) serta pengujian MANOVA untuk melihat perbedaan rata-rata multivariat antar klaster. Hasilnya menunjukkan bahwa $KNN = 4$ dan $KNN = 5$ menghasilkan nilai DBI serta hasil MANOVA yang relatif sama. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan jumlah tetangga dari empat menjadi lima tidak memberikan informasi spasial tambahan terhadap struktur klaster yang terbentuk.

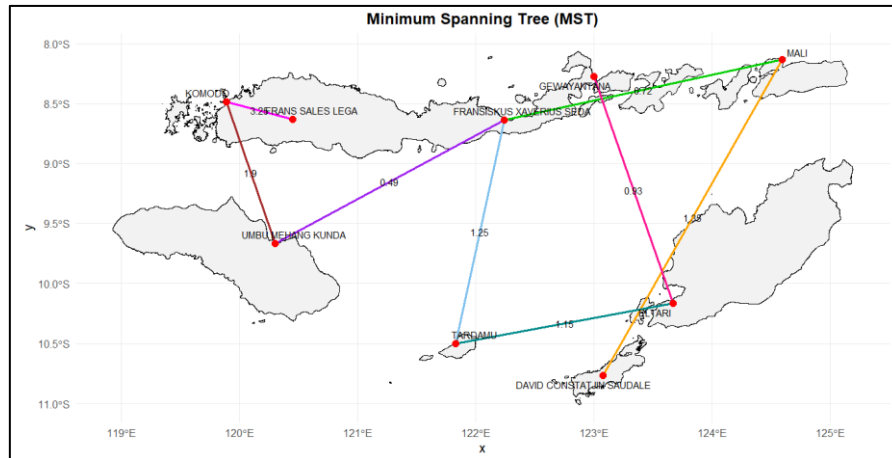
Berdasarkan hasil tersebut, $KNN = 4$ dipilih karena menghasilkan MANOVA yang signifikan pada semua klaster dibandingkan KNN lainnya serta menghasilkan nilai DBI yang lebih baik. Berdasarkan Gambar 4.4 pada graf KNN yang terbentuk, setiap simpul (stasiun meteorologi) dihubungkan dengan empat tetangga terdekat berdasarkan jarak *Euclidean* dari koordinat Lintang (X_4) dan Bujur (X_5). Hasil pembentukan KNN menghasilkan graf yang memiliki banyak keterhubungan antar simpul. Karena setiap simpul memiliki lebih dari satu koneksi, sehingga graf KNN membentuk beberapa siklus. Oleh karena itu, dibangun *Minimum Spanning Tree* (MST) untuk menyederhanakan struktur graf.



Gambar 4.4 K-Nearest Neighbor (KNN)

Pada Gambar 4.4, hasil pembentukan graf KNN menghasilkan beberapa siklus, seperti siklus yang dibentuk oleh simpul Frans Sales Lega (M_4), Komodo (M_5), Umbu Mehang Kunda (M_6), dengan bobot sisi $d(4,5) = 3.25$, $d(5,6) = 1.90$, dan $d(4,6) = 3.61$. Berdasarkan prinsip MST, sisi dengan bobot terbesar pada suatu siklus tidak dipilih sehingga sisi $d(4,6) = 3.61$ dikeluarkan dari graf. Setelah proses reduksi sisi pada semua siklus dilakukan, diperoleh MST yang terdiri dari delapan sisi. Karena terdapat sembilan stasiun meteorologi, maka MST yang dibangun memiliki 8 sisi ($n - 1$).

MST dibangun dengan jarak *Euclidean* berdasarkan variabel Curah Hujan (X_1), Suhu (X_2), dan Kelembapan (X_3). Perhitungan jarak *Euclidean* dilakukan menggunakan Persamaan (2.5). MST mempertahankan sisi-sisi dengan bobot minimum yang menghubungkan seluruh simpul tanpa membentuk siklus, serta menghapus sisi dengan bobot lebih besar apabila membentuk siklus dalam graf, dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Minimum Spanning Tree (MST)*

Untuk memudahkan perhitungan dapat menggunakan bantuan *software* RStudio dapat dilihat pada script Lampiran 5. Sebagai contoh, jarak untuk Stasiun Mali (M_1) dengan Stasiun Umbu Mehang Kunda (M_6). Dihitung berdasarkan nilai variabel pada Stasiun Mali dan Umbu Mehang Kunda, yaitu:

Stasiun Mali $(-0.9592, 0.3710, -0.0309)$, dan Stasiun Umbu Mehang Kunda $(-0.9529, 0.2003, -0.3117)$. Langkah perhitungan:

Perhitungan dilakukan dengan menentukan selisih setiap variable:

$$\Delta X_1 = -0.9592 - (-0.9529) = -0.0062$$

$$\Delta X_2 = 0.3710 - 0.2003 = 0.1707$$

$$\Delta X_3 = -0.0309 - (-0.3117) = 0.2807,$$

kemudian mengkuadratkan selisih tersebut:

$$(\Delta X_1)^2 = (-0.0062)^2 = 0.0000$$

$$(\Delta X_2)^2 = (0.1707)^2 = 0.0291$$

$$(\Delta X_3)^2 = (0.2807)^2 = 0.0788,$$

kemudian menjumlahkan hasil kuadrat:

$$0.0000 + 0.0291 + 0.0788 = 0.1080$$

kemudian diambil akar kuadratnya:

$$d(1,6) = \sqrt{0.1080} = 0.32,$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai jarak *Euclidean* antara kedua stasiun sebesar $d(1,6) = 0.32$.

Nilai tersebut menunjukkan tingkat ketidakmiripan karakteristik iklim antara Stasiun Mali dan Stasiun Umbu Mehang Kunda. Semakin kecil nilai jarak *Euclidean*, semakin mirip karakteristik kedua stasiun tersebut. Setelah seluruh pasangan stasiun dihitung, diperoleh matriks jarak *Euclidean* (D_1) yang menggambarkan tingkat ketidakmiripan antar sembilan stasiun meteorologi.

$$D_1 = \begin{bmatrix} 0.00 & 2.80 & 0.71 & 3.63 & 1.62 & 0.32 & 1.57 & 1.35 & 2.22 \\ 2.80 & 0.00 & 2.55 & 4.22 & 3.75 & 2.71 & 1.31 & 2.44 & 0.93 \\ 0.71 & 2.55 & 0.00 & 4.00 & 2.33 & 0.49 & 1.24 & 1.83 & 2.19 \\ 3.63 & 4.22 & 4.00 & 0.00 & 3.24 & 3.61 & 3.96 & 2.72 & 3.40 \\ 1.62 & 3.75 & 2.33 & 3.24 & 0.00 & 1.89 & 2.85 & 1.42 & 2.94 \\ 0.32 & 2.71 & 0.49 & 3.61 & 1.89 & 0.00 & 1.45 & 1.48 & 2.18 \\ 1.57 & 1.31 & 1.24 & 3.96 & 2.85 & 1.45 & 0.00 & 1.76 & 1.15 \\ 1.35 & 2.44 & 1.83 & 2.72 & 1.42 & 1.48 & 1.76 & 0.00 & 1.56 \\ 2.22 & 0.93 & 2.19 & 3.40 & 2.94 & 2.18 & 1.15 & 1.56 & 0.00 \end{bmatrix}$$

MST ini yang selanjutnya digunakan pada tahapan berikutnya dalam metode SKATER yaitu melakukan partisi MST.

2. Membuat Partisi MST

Partisi MST bertujuan untuk membagi graf MST menjadi beberapa subgraf terhubung yang merepresentasikan kluster spasial. Pemotongan sisi dilakukan secara bertahap dengan mempertimbangkan nilai ketidakmiripan antar stasiun meteorologi. Untuk mempermudah interpretasi hasil analisis,

masing-masing variabel diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Penentuan interval kategori dilakukan berdasarkan pembagian rentang nilai minimum hingga maksimum dari data aktual (data sebelum distandardisasi) menjadi tiga bagian yang sama. Untuk data aktual dapat dilihat pada Tabel 4.5. Tujuannya untuk memberikan gambaran kondisi klimatologis pada setiap stasiun meteorologi sehingga hasil klasterisasi menggunakan metode SKATER dapat diinterpretasikan secara lebih jelas. Dengan adanya kategori tersebut, karakteristik masing-masing klaster dapat diketahui berdasarkan dominasi kondisi curah hujan, suhu, dan kelembapan. Hasil interval kategori masing-masing variabel klasterisasi dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Berikut hasil perhitungan dari partisi MST menggunakan bantuan *software* RStudio yang menghasilkan 2 klaster hingga 6 klaster. Gambar 4.6 menunjukkan hasil pemotongan di mana satu sisi dengan kontribusi heterogenitas terbesar yaitu sisi Frans Sales Lega dengan Komodo ($d(4,5) = 3.25$), dipotong terlebih dahulu sehingga graf terbagi menjadi 2 klaster. Untuk lebih jelasnya perhatikan perhitungan berikut. Klaster 1 yang beranggotakan 8 stasiun meteorologi, diketahui nilai variabel X_1, X_2, X_3 yaitu:

Stasiun Mali (-0.9592, 0.3710, -0.0309)

Stasiun Gewayantana (1.5867, 0.5891, -1.1764)

Stasiun Fransiskus Xaverius Seda (-0.9287, 0.4384, -0.7447)

Stasiun Komodo (-0.9397, 0.2569, 1.5859)

Stasiun Uumbu Meheng Kunda (-0.9529, 0.2003, -0.3117)

Stasiun Tardamu (0.2904, 0.5724, -0.9695)

Stasiun David Constatjin Saudale (0.1246, -0.0175, 0.6815)

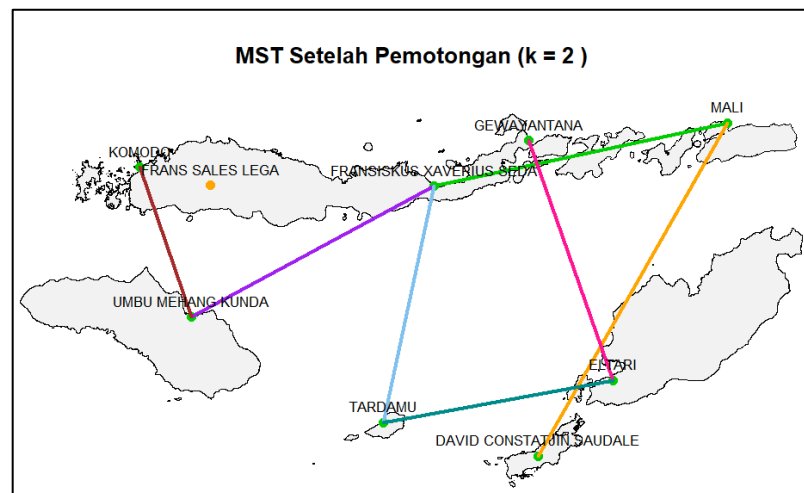
Stasiun Eltari (1.2258, 0.2056, -0.4049).

Klaster 2 beranggotakan satu stasiun yaitu:

Stasiun Frans Sales Lega (0.5530, -2.6165, 1.3709).

Tabel 4.9 Interval Kategori Variabel Klasterisasi

Variabel	Kategori	Interval
Curah Hujan (mm) (X_1)	Rendah	3.56 - 8.48
	Sedang	8.48 - 13.40
	Tinggi	13.40 - 18.33
Suhu ($^{\circ}C$) (X_2)	Rendah	20.36 - 23.05
	Sedang	23.05 - 25.73
	Tinggi	25.73 - 28.42
Kelembapan (%) (X_3)	Rendah	76.47 - 79.74
	Sedang	79.74 - 83.02
	Tinggi	83.02 - 86.29



Gambar 4.6 MST Setelah Pemotongan Satu Sisi ($K = 2$)

Perhitungan rata-rata ketika sisi Frans Sales Lega dan David Contatjin Saudale dipotong menggunakan Persamaan (2.8):

$$\bar{x}'_{cj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} x'_{ij}}{n_c},$$

klaster 1($x_1, x_2, x_3, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9$), dengan $n_1 = 8$:

$$\begin{aligned}
\bar{x}'_{11} &= (-0.9592 + 1.5867 + (-0.9287) + (-0.9397) + (-0.9529) \\
&\quad + 0.2904 + 0.1246 + 1.2258)/8 \\
&= \frac{-0.5530}{8} = -0.0691
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{x}'_{12} &= (0.3710 + 0.5891 + 0.4384 + 0.2569 + 0.2003 + 0.5724 \\
&\quad + (-0.0175) + 0.2056)/8 \\
&= \frac{2.6165}{8} = 0.3270
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{x}'_{13} &= (-0.0309 + (-1.1764) + (-0.7447) + 1.5859 + (-0.3117) \\
&\quad + (-0.9695) + 0.6815 + (-0.4049))/8 \\
&= \frac{-1.3709}{8} = -0.1713,
\end{aligned}$$

jadi rata-rata klaster 1 adalah $\bar{x}'_{1j} = (-0.0691, 0.3270, -0.1713)$.

Klaster 2 (x_4), dengan $n_2 = 1$:

$$\bar{x}'_{1j} = (0.5530, -2.6165, 1.3709).$$

Jika nilai rata-rata sudah dihitung, selanjutnya menghitung nilai SSD tiap klaster menggunakan Persamaan (2.16):

$$SSD_c = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_c} (x'_{ij} - \bar{x}'_{cj})^2$$

diketahui:

$$\bar{x}'_{1j} = (-0.0691, 0.3270, -0.1713),$$

sebagai contoh untuk Stasiun Mali $(-0.9592, 0.3710, -0.0309)$:

$$\begin{aligned}
X_1 &= (x'_{ij} - \bar{x}'_{cj})^2 \\
&= (-0.9592 - (-0.0691))^2 \\
&= (-0.8901)^2
\end{aligned}$$

$$= 0.7923$$

$$X_2 = (0.3710 - 0.3270)^2$$

$$= (0.0439)^2$$

$$= 0.0019$$

$$X_3 = (-0.0309 - (-0.1713))^2$$

$$= (0.1404)^2$$

$$= 0.0197,$$

jumlahkan nilai yang diperoleh:

$$SSD_{Mali} = 0.7923 + 0.0019 + 0.0197 = 0.8139.$$

maka nilai SSD untuk Stasiun Mali adalah 0.8139. Kemudian jumlahkan semua SSD_1 :

$$\begin{aligned} SSD_1 &= 0.8139 + 3.8211 + 1.0798 + 3.8507 + 0.8177 + 0.8258 \\ &+ 0.8830 + 1.7458 = 13.8392. \end{aligned}$$

Untuk klaster 2 nilai $SSD_2 = 0$ karena hanya satu anggota yaitu Stasiun Fransales Lega, maka tidak ada deviasi dari rata-rata. Setelah nilai SSD didapat langkah selanjutnya adalah menghitung total kualitas partisi $Q(\Pi)$ menggunakan Persamaan (2.6):

$$\begin{aligned} Q(\Pi) &= \sum_{c=1}^K SSD_c, \\ &= 13.8392 + 0 \\ &= 13.8392. \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat deviasi dalam klaster (SSD) dilakukan untuk setiap hasil partisi yang dihasilkan oleh metode SKATER.

Tabel 4.10 Perhitungan Deviasi Kuadrat pada Kluster 1 ($K = 2$)

Stasiun Meteorologi	$(x_{i1} - \bar{x}'_{c1})^2$	$(x_{i2} - \bar{x}'_{c2})^2$	$(x_{i3} - \bar{x}'_{c3})^2$	SSD_1
Mali	0.7923	0.0019	0.0197	0.8139
Gewayantana	2.7422	0.0686	1.0102	3.8211
Fransiskus Xaverius Seda	0.7385	0.0126	0.3287	1.0798
Komodo	0.7579	0.0049	3.0879	3.8507
Umbu Mehang Kunda	0.7819	0.0160	0.0197	0.8177
Tardamu	0.1292	0.0602	0.6363	0.8258
David Constatjin Saudale	0.0375	0.1180	0.7274	0.8830
Eltari	1.6765	0.0147	0.0545	1.7458

Pada bagian sebelumnya telah ditunjukkan contoh perhitungan rinci SSD untuk 2 kluster $K = 2$, dengan menghitung rata-rata variabel pada setiap kluster, kemudian menghitung deviasi kuadrat tiap objek terhadap rata-rata klasternya menggunakan Persamaan (2.6) sampai (2.9). Prosedur yang sama diterapkan untuk seluruh kluster yang diuji, yaitu $K = 2, K = 3, K = 4, K = 5$, dan $K = 6$. Untuk lebih lengkapnya hasil perhitungan dan visual partisi MST dengan bantuan *software* RStudio sebagai berikut:

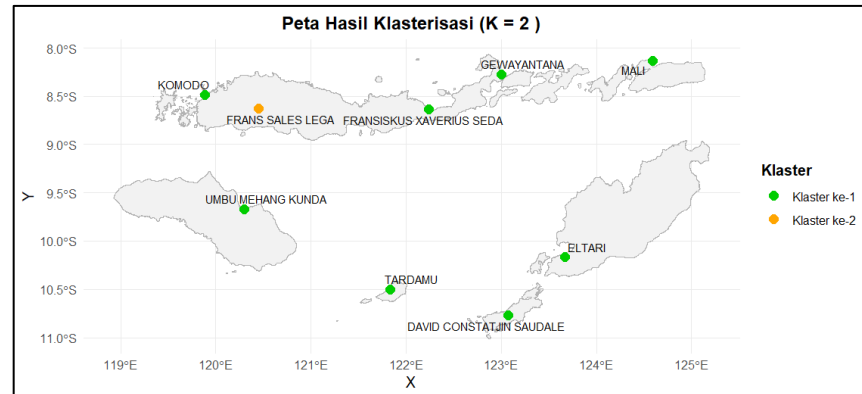
Untuk K_2 :

Kluster ke-1: $SSD = 13.8392$

Kluster ke-2: $SSD = 0$

Nilai $Q(I) = 13.8392$.

Gambar 4.7 dan Tabel 4.11 menunjukkan hasil pengelompokan dengan 2 kluster ($K = 2$). Pada Kluster ke-1 dominasi suhu tinggi menunjukkan bahwa wilayah pada kluster ini memiliki tingkat penguapan yang relatif besar sehingga berpotensi mengalami kondisi kekeringan, sehingga cenderung menunjukkan kondisi yang rawan terhadap kekeringan.



Gambar 4.7 Peta Hasil Klasterisasi 2 Klaster

Tabel 4.11 Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 2 Klaster

Klaster ke- <i>n</i>	Jumlah Anggota	Anggota Stasiun	Curah Hujan (X_1)	Kategori Curah Hujan	Suhu (X_2)	Kategori Suhu	Kelembapan (X_3)	Kategori Kelembapan
Klaster ke-1	8	Mali, Gewayantana, Fransiskus Xaverius Seda, Komodo, Umbu Mehang Kunda, Tardamu, dan David Constatjin Saudale, Eltari	8.7193	Sedang	27.7629	Tinggi	80.0438	Sedang
Klaster ke-2	1	Frans Sales Lega	12.3293	Sedang	20.3569	Rendah	85.5255	Tinggi

Sementara itu, pada Klaster ke-2 kombinasi suhu rendah dan kelembapan tinggi menunjukkan kondisi atmosfer yang lebih lembap dan sejuk dibanding klaster ke-1, sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi tidak rawan terhadap kekeringan.

Secara umum, hasil klasterisasi $K = 2$ dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu klaster yang cenderung rawan kekeringan dan klaster yang cenderung tidak rawan kekeringan.

Untuk K_3 :

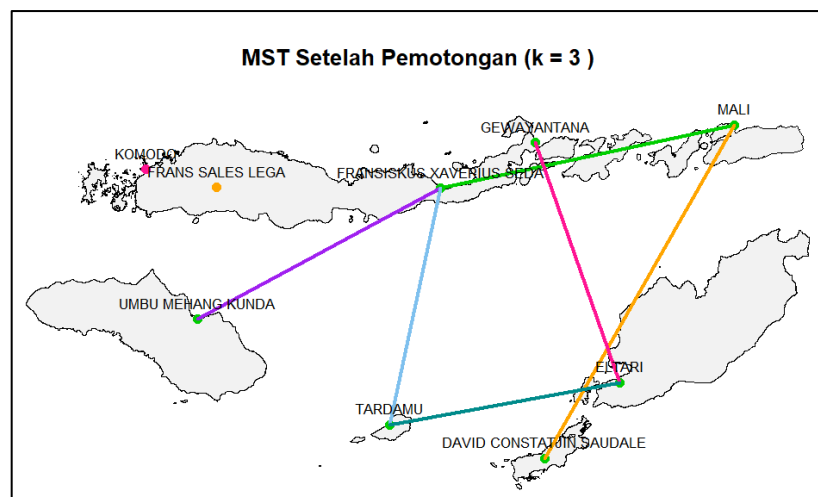
Klaster ke-1: $SSD = 9.4381$

Klaster ke-2: $SSD = 0$

Klaster ke-3: $SSD = 0$

Nilai $Q(\Pi) = 9.4381$.

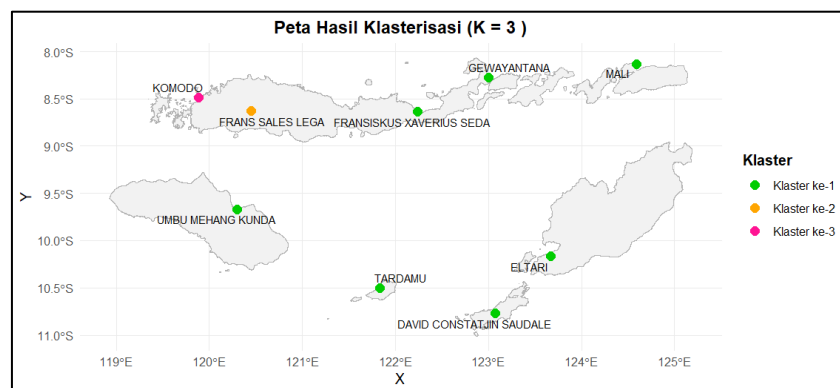
Gambar 4.8 menunjukkan hasil pemotongan di mana dua sisi yaitu sisi Frans Sales Lega dengan Komodo ($d(4,5) = 3.25$), sisi Komodo dengan Umbu Mehang Kunda ($d(5,6) = 1.90$) dipotong sehingga graf terbagi menjadi tiga klaster. Tabel 4.12 menunjukkan hasil pengelompokan dengan 3 klaster ($K = 3$). Klaster ke-1 memiliki curah hujan sedang, suhu tinggi, dan kelembapan rendah sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan parah.



Gambar 4.8 MST Setelah Pemotongan Dua Sisi ($K = 3$)

Pada Klaster ke-3 meskipun curah hujan tergolong rendah dan suhu relatif tinggi, tingkat kelembapan yang tinggi menunjukkan bahwa kondisi udara di wilayah tersebut masih cukup lembap sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan sedang. Sementara itu, pada Klaster ke-2 karakteristiknya menunjukkan kondisi yang relatif lebih sejuk dan lembap dibanding klaster lainnya

sehingga risiko kekeringan cenderung rendah, maka diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi tidak rawan terhadap kekeringan. Hasil klasterisasi $K = 3$, menunjukkan pemisahan yang lebih rinci. Stasiun Komodo membentuk klaster tersendiri karena memiliki karakteristik yang berbeda dari stasiun lainnya, sehingga tingkat kerawanan kekeringan dapat dibedakan menjadi kelompok rawan, sedang, dan tidak rawan.



Gambar 4.9 Peta Hasil Klasterisasi 3 Klaster

Tabel 4.12 Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 3 Klaster

Klaster ke-n	Jumlah Anggota	Anggota Stasiun	Curah Hujan (X_1)	Kategori Curah Hujan	Suhu (X_2)	Kategori Suhu	Kelembapan (X_3)	Kategori Kelembapan
Klaster ke-1	7	Mali, Gewayantana, Fransiskus Xaverius Seda, Umbu Mehang Kunda, Tardamu, dan David Constatjin Saudale, Eltari	9.4408	Sedang	27.7881	Tinggi	79.1516	Rendah
Klaster ke-2	1	Frans Sales Lega	12.3293	Sedang	20.3569	Rendah	85.5255	Tinggi
Klaster ke-3	1	Komodo	3.6684	Rendah	27.5866	Tinggi	86.2897	Tinggi

Untuk K_4 :

Klaster ke-1: $SSD = 7.8640$

Klaster ke-2: $SSD = 0$

Klaster ke-3: $SSD = 0$

Klaster ke-4: $SSD = 0$

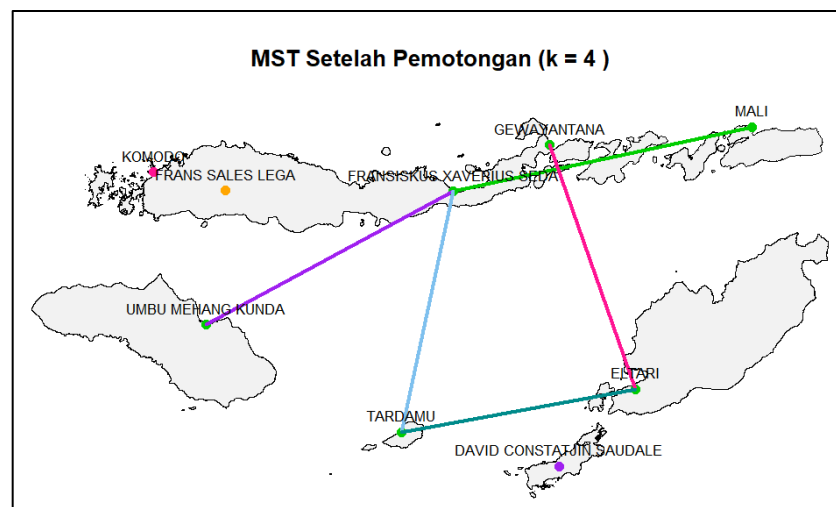
Nilai $Q(\Pi) = 7.8640$.

Gambar 4.10 menunjukkan hasil di mana tiga sisi yaitu sisi Frans Sales Lega dengan Komodo ($d(4,5) = 3.25$), sisi Komodo dengan Umbu Meheng Kunda ($d(5,6) = 1.90$), dan sisi Mali dengan David Contatjin Saudale ($d(1,8) = 1.35$) dipotong sehingga jaringan terbagi menjadi empat klaster. Gambar 4.11 dan Tabel 4.13 menunjukkan hasil pengelompokan dengan 4 klaster ($K = 4$). Pada Klaster ke-1, kombinasi suhu tinggi dan kelembapan rendah menunjukkan kondisi lingkungan yang relatif kering dan berpotensi meningkatkan laju penguapan, sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan parah.

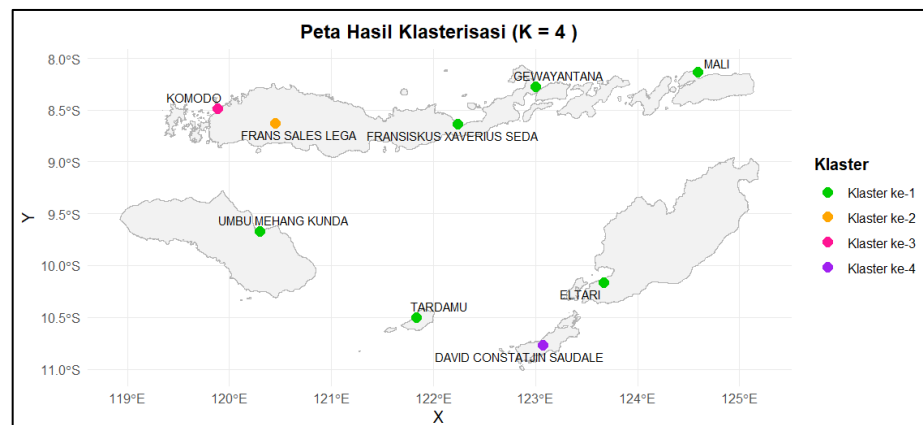
Pada Klaster ke-3, kondisi curah hujan yang rendah menunjukkan adanya potensi kekeringan, namun kelembapan yang tinggi menyebabkan kondisi atmosfer wilayah ini masih relatif lembap dibanding kelompok rawan utama, sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan sedang.

Pada Klaster ke-4, karakteristiknya menunjukkan kelompok ini masih memiliki kondisi udara yang cukup lembap sehingga risiko kekeringannya lebih rendah dibanding Klaster ke-1, sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan ringan.

Sementara itu, Klaster ke-2 memiliki kombinasi suhu rendah dan kelembapan tinggi menunjukkan kondisi wilayah yang lebih sejuk dan lembap dibanding klaster lainnya sehingga potensi kekeringannya relatif rendah sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi tidak rawan terhadap kekeringan.



Gambar 4.10 MST Setelah Pemotongan Tiga Sisi ($K = 4$)



Gambar 4.11 Peta Hasil Klasterisasi 4 Klaster

Secara umum, hasil klasterisasi pada $K = 4$ menunjukkan bahwa pembagian klaster menjadi semakin spesifik dibandingkan hasil sebelumnya. Pada tahap ini mulai muncul kelompok dengan tingkat

kerawanan kekeringan ringan, yaitu Klaster ke-4, yang memiliki karakteristik transisi antara kelompok rawan dan kelompok tidak rawan.

Tabel 4.13 Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 4 Klaster

Klaster ke- <i>n</i>	Jumlah Anggota	Anggota Stasiun	Curah Hujan (X_1)	Kategori Curah Hujan	Suhu (X_2)	Kategori Suhu	Kelembapan (X_3)	Kategori Kelembapan
Klaster ke-1	6	Mali, Gewayantana, Fransiskus Xaverius Seda, Umbu Meheng Kunda, Tardamu, Eltari	9.3737	Sedang	27.9368	Tinggi	78.4976	Rendah
Klaster ke-2	1	Frans Sales Lega	12.3293	Sedang	20.3569	Rendah	85.5255	Tinggi
Klaster ke-3	1	Komodo	3.6684	Rendah	27.5866	Tinggi	86.2897	Tinggi
Klaster ke-4	1	David Constatjin Saudale	9.8438	Sedang	26.8959	Tinggi	83.0752	Tinggi

Untuk K_5 :

Klaster ke-1: $SSD = 0.2892$

Klaster ke-2: $SSD = 1.3082$

Klaster ke-3: $SSD = 0$

Klaster ke-4: $SSD = 0$

Klaster ke-5: $SSD = 0$

Nilai $Q(\Pi) = 1.5974$.

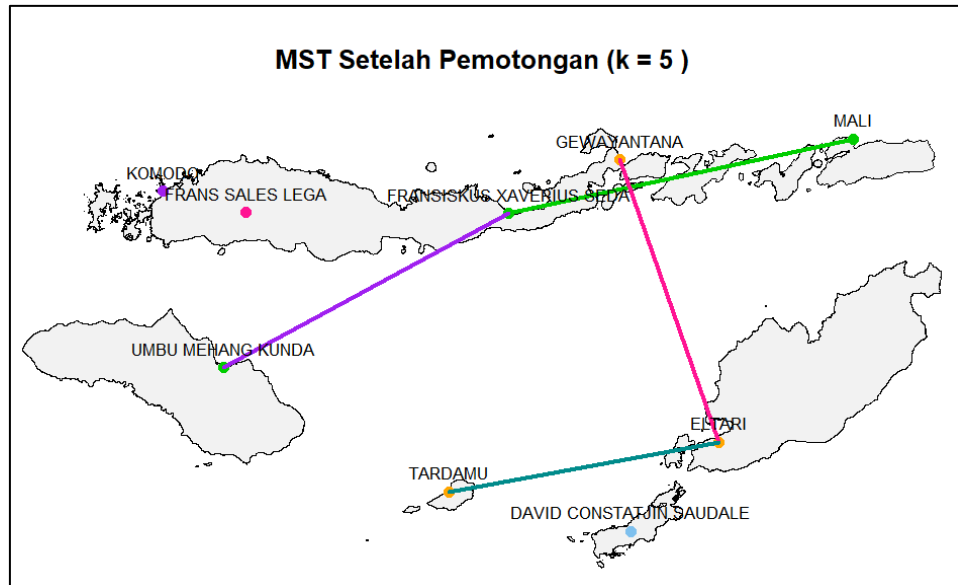
Gambar 4.12 menunjukkan hasil di mana empat sisi yaitu sisi Frans Sales Lega dengan Komodo ($d(4,5) = 3.25$), sisi Komodo dengan Umbu Meheng Kunda ($d(5,6) = 1.90$), dan sisi Mali dengan David Contatjin Saudale ($d(1,8) = 1.35$) serta sisi Fransiskus Saverius Seda dan Tardamu ($d(3,7) = 1.24$) dipotong sehingga jaringan terbagi menjadi lima klaster.

Gambar 4.13 dan Tabel 4.14 menunjukkan hasil pengelompokan dengan 5

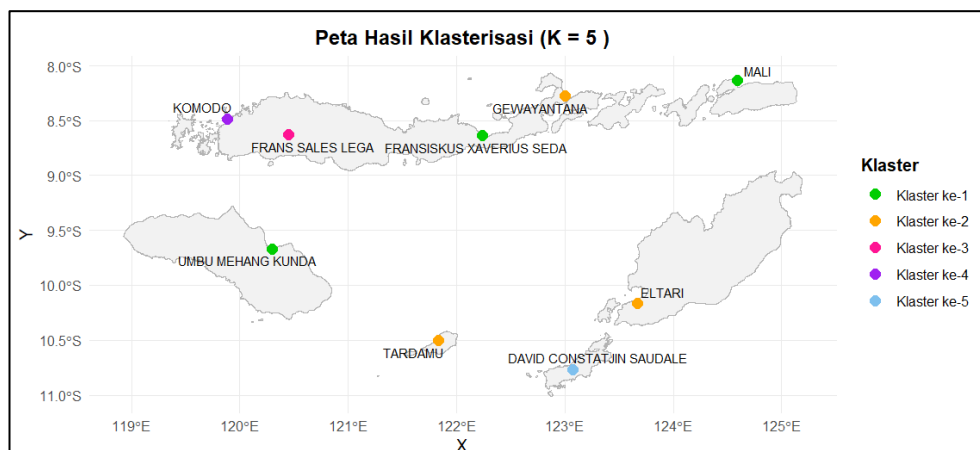
klaster ($K = 5$). Klaster ke-1 memiliki kombinasi curah hujan rendah, suhu tinggi, dan kelembapan rendah menunjukkan kondisi lingkungan yang sangat kering dan berpotensi meningkatkan laju penguapan sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan sangat parah.

Pada Klaster ke-2, meskipun curah hujan pada klaster ini tergolong tinggi, suhu yang sangat tinggi disertai kelembapan rendah menyebabkan tingkat penguapan tetap besar sehingga kelompok tersebut masih berpotensi mengalami kekeringan, terutama pada musim kemarau panjang sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan parah. Pada Klaster ke-4, curah hujan yang rendah menunjukkan adanya potensi kekeringan, namun tingginya kelembapan udara menyebabkan kondisi wilayah ini masih relatif lembap dibanding klaster yang lebih rawan sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan sedang.

Pada Klaster ke-5, kondisi menunjukkan klaster ini masih memiliki tingkat kelembapan yang cukup baik sehingga risiko kekeringannya relatif lebih rendah dibanding klaster sebelumnya sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan ringan. Sementara itu, Klaster ke-3 dengan kombinasi suhu rendah dan kelembapan tinggi menunjukkan kondisi wilayah yang lebih sejuk dan lembap dibanding klaster lainnya sehingga risiko kekeringannya relatif rendah sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi tidak rawan terhadap kekeringan.



Gambar 4.12 MST Setelah Pemotongan Empat Sisi ($K = 5$)



Gambar 4.13 Peta Hasil Klasterisasi 5 Klaster

Untuk K_6 :

Klaster ke-1: $SSD = 0.2892$

Klaster ke-2: $SSD = 0.4363$

Klaster ke-3: $SSD = 0$

Klaster ke-4: $SSD = 0$

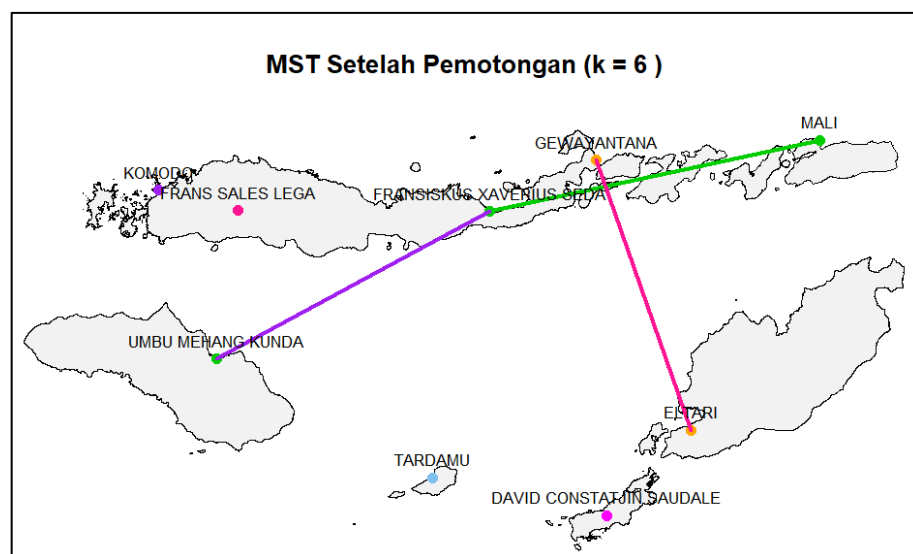
Klaster ke-5: $SSD = 0$

Klaster ke-6: $SSD = 0$

Nilai $Q(\Pi) = 0.7255$.

Tabel 4.14 Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 5 Klaster

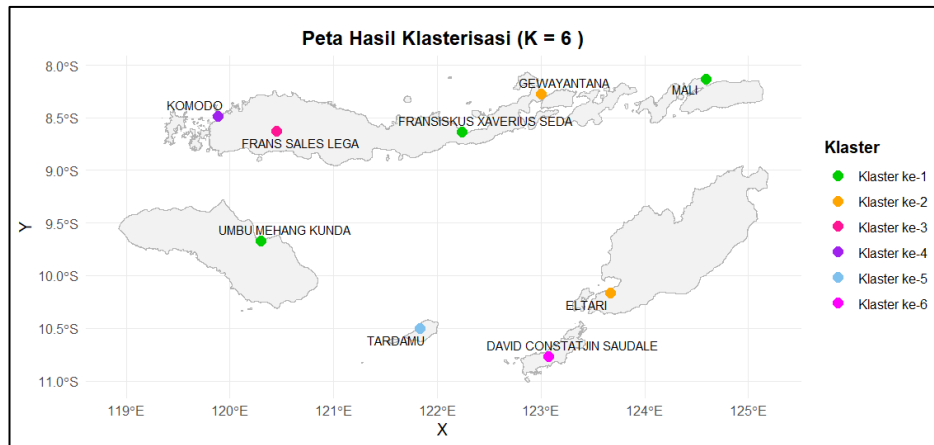
Klaster ke- n	Jumlah Anggota	Anggota Stasiun	Curah Hujan (X_1)	Kategori Curah Hujan	Suhu (X_2)	Kategori Suhu	Kelembapan (X_3)	Kategori Kelembapan
Klaster ke-1	3	Mali, Fransiskus Xaverius Seda, Umbu Mehang Kunda	3.6261	Rendah	27.7869	Tinggi	79.3646	Rendah
Klaster ke-2	3	Tardamu, Gewayantana, Eltari	15.1213	Tinggi	28.0867	Tinggi	77.6307	Rendah
Klaster ke-3	1	Frans Sales Lega	12.3293	Sedang	20.3569	Rendah	85.5255	Tinggi
Klaster ke-4	1	Komodo	3.6684	Rendah	27.5866	Tinggi	86.2897	Tinggi
Klaster ke-5	1	David Constatjin Saudale	9.8438	Sedang	26.8959	Tinggi	83.0752	Tinggi



Gambar 4.14 MST Setelah Pemotongan Lima Sisi ($K = 6$)

Gambar 4.14 menunjukkan hasil di mana lima sisi yaitu sisi Frans Sales Lega dengan Komodo ($d(4,5) = 3.25$), sisi Komodo dengan Umbu Mehang Kunda ($d(5,6) = 1.90$), sisi Mali dengan David Contatjin Saudale ($d(1,8) = 1.35$), sisi Fransiskus Saverius Seda dan Tardamu ($d(3,7) = 1.24$) dan sisi Tardamu dengan Eltari ($d(7,9) = 1.15$) dipotong

sehingga jaringan terbagi menjadi enam klaster. Gambar 4.15 dan Tabel 4.15 menunjukkan hasil pengelompokan dengan 6 klaster ($K = 6$).



Gambar 4.15 Peta Hasil Klasterisasi 6 Klaster

Tabel 4.15 Nilai Rata-Rata dan Anggota Hasil Klasterisasi dari 6 Klaster

Klaster ke- n	Jumlah Anggota	Anggota Stasiun	Curah Hujan (X_1)	Kategori Curah Hujan	Suhu (X_2)	Kategori Suhu	Kelembapan (X_3)	Kategori Kelembapan
Klaster ke-1	3	Mali, Fransiskus Saverius Seda, Umbu Meheng Kunda	3.6261	Rendah	27.7869	Tinggi	79.3646	Rendah
Klaster ke-2	2	Gewayantana, Eltari	17.2794	Tinggi	27.9398	Tinggi	77.8426	Rendah
Klaster ke-3	1	Frans Sales Lega	12.3293	Sedang	20.3569	Rendah	85.5255	Tinggi
Klaster ke-4	1	Komodo	3.6684	Rendah	27.5866	Tinggi	86.2897	Tinggi
Klaster ke-5	1	Tardamu	10.8053	Sedang	28.3804	Tinggi	77.2068	Rendah
Klaster ke-6	1	David Constatjin Saudale	9.8438	Sedang	26.8959	Tinggi	83.0752	Tinggi

Pada Klaster ke-1 kombinasi curah hujan yang rendah, suhu yang tinggi, serta kelembapan yang rendah menunjukkan kondisi atmosfer yang kering sehingga berpotensi meningkatkan laju evapotranspirasi dan memperbesar risiko terjadinya kekeringan, sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan sangat parah.

Pada Klaster ke-2 kondisi tingginya curah hujan menunjukkan ketersediaan air yang relatif lebih baik dibandingkan klaster lain, namun suhu yang tinggi disertai kelembapan yang rendah dapat meningkatkan penguapan sehingga sebagian besar air yang tersedia berpotensi cepat hilang ke atmosfer, sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan parah.

Pada Klaster ke-5 Kondisi curah hujan yang berada pada kategori sedang belum sepenuhnya mampu mengimbangi tingginya suhu udara dan rendahnya kelembapan. Kondisi tersebut menyebabkan potensi kehilangan air melalui penguapan masih cukup tinggi sehingga wilayah pada klaster ini tetap memiliki risiko kekeringan yang cukup besar, sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan sedang hingga parah.

Pada Klaster ke-4, meskipun curah hujan yang rendah dapat menjadi indikator kekeringan, kelembapan udara yang tinggi menunjukkan bahwa kondisi atmosfer masih relatif lembap, sehingga tingkat kerawanan kekeringan pada klaster ini tidak setinggi klaster yang memiliki kelembapan rendah. Oleh karena itu, Klaster ke-4 diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan sedang.

Pada Klaster ke-6 kombinasi curah hujan sedang dan kelembapan tinggi menunjukkan ketersediaan air yang relatif lebih baik, meskipun suhu udara masih tergolong tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan risiko kekeringan relatif lebih rendah dibandingkan klaster-klaster sebelumnya, sehingga

diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan ringan.

Sementara itu, pada Klaster ke-3, kombinasi suhu yang rendah dan kelembapan yang tinggi menunjukkan kondisi lingkungan yang lebih sejuk dan lembap sehingga kehilangan air akibat penguapan cenderung lebih kecil. Selain itu, curah hujan pada kategori sedang turut mendukung ketersediaan air di wilayah tersebut, sehingga diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi tidak rawan terhadap kekeringan.

Secara keseluruhan, hasil klasterisasi menunjukkan bahwa pengelompokan wilayah ditentukan oleh kombinasi ketiga variabel klimatologis yang saling berinteraksi. Perbedaan nilai rata-rata pada setiap klaster menjadi dasar utama dalam pengelompokan kekeringan, sehingga hasil visualisasi peta yang diperoleh telah didukung oleh analisis kuantitatif yang konsisten. Secara keseluruhan, partisi lima klaster memberikan segmentasi pengelompokan kekeringan yang paling detail.

4.5 Pemilihan Klaster Optimal

Setelah terbentuk beberapa klaster, selanjutnya dilakukan pemilihan klaster optimal menggunakan MANOVA dengan statistik uji *Pillai's Trace* karena variabel yang digunakan, yaitu curah hujan, suhu, dan kelembapan, saling berkorelasi secara multivariat. Pengujian dilakukan berdasarkan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : Tidak terdapat perbedaan rata-rata multivariat antar klaster

H_1 : Terdapat perbedaan rata-rata multivariat antar klaster

Kriteria pengambilan keputusan: Tolak H_0 jika $P - value < 0.05$, yang berarti terdapat perbedaan rata-rata multivariat antar klaster. Klaster optimal dipilih pada K klaster yang menghasilkan nilai *Pillai's Trace* terbesar dan $P - value < 0.05$.

Perhitungan MANOVA berdasarkan hasil komputasi dengan bantuan *software* RStudio untuk script dapat dilihat pada Lampiran 5. Pada pengelompokan dengan 2 klaster ($K = 2$), diperoleh matriks H dan matriks E sebagai bagian dari analisis MANOVA. Matriks ragam antar klaster yang dinotasikan sebagai H , dan matriks ragam dalam klaster yang dinotasikan sebagai E . Perhitungan menggunakan Persamaan (2.18). Berdasarkan hasil komputasi dengan bantuan *software* RStudio diperoleh:

Matriks H (Ragam antar klaster):

$$H = \begin{bmatrix} 0.3441 & -1.6280 & 0.8530 \\ -1.6280 & 7.7022 & -4.0355 \\ 0.8530 & -4.0355 & 2.1143 \end{bmatrix}$$

Matriks H menggambarkan besarnya variasi rata-rata variabel antar klaster. Nilai diagonal pada matriks ini menunjukkan kontribusi masing-masing variabel dalam membedakan klaster. Variabel kedua memiliki nilai diagonal terbesar yaitu 7.7022, yang mengindikasikan bahwa variabel tersebut memberikan kontribusi paling dominan dalam membedakan kedua klaster. Sementara itu, variabel pertama memiliki nilai diagonal yang relatif kecil, sehingga perbedaannya antar klaster tidak sebesar variabel lainnya. Nilai elemen non-diagonal yang bernilai negatif menunjukkan adanya hubungan berlawanan arah antar variabel dalam membentuk perbedaan klaster. Selanjutnya diperoleh Matriks E (ragam dalam klaster):

$$E = \begin{bmatrix} 7.6558 & 0.3362 & -3.1263 \\ 0.3362 & 0.2977 & -0.8879 \\ -3.1263 & -0.8879 & 5.8856 \end{bmatrix}$$

Matriks E menunjukkan variasi data di dalam masing-masing klaster. Nilai diagonal pada matriks ini merepresentasikan ragam masing-masing variabel dalam klaster. Variabel kedua memiliki nilai ragam dalam klaster yang relatif kecil yaitu 0.2977, yang mengindikasikan bahwa anggota dalam klaster bersifat cukup homogen pada variabel tersebut. Sebaliknya, variabel pertama dan ketiga memiliki ragam dalam klaster yang lebih besar, sehingga tingkat homogenitasnya relatif lebih rendah dibandingkan variabel kedua. Langkah berikutnya adalah menghitung matriks transformasi utama dalam MANOVA, hasil perkalian matriks menghasilkan:

$$E^{-1}H = \begin{bmatrix} -0.0751 & 0.3557 & -0.1863 \\ -9.2181 & 43.6108 & -22.8494 \\ -1.2856 & 6.0824 & -3.1868 \end{bmatrix}$$

Matriks ini merepresentasikan rasio ragam antar klaster terhadap ragam dalam klaster secara multivariat dan menjadi dasar perhitungan nilai eigen. Dari matriks tersebut diperoleh nilai eigen sebagai berikut:

$$\lambda_1 = 40.3488, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = 0,$$

karena jumlah variabel 3, maka terdapat tiga nilai eigen yang digunakan dalam perhitungan statistik uji. Menggunakan Persamaan (2.18) untuk $K = 2$:

$$V = \sum_{j=1}^3 \frac{\lambda_j}{1 + \lambda_j},$$

$$\frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1} = \frac{40.3488}{41.3488} = 0.9758$$

$$\frac{\lambda_2}{1 + \lambda_2} = \frac{0}{1} = 0$$

$$\frac{\lambda_3}{1 + \lambda_3} = \frac{0}{1} = 0,$$

diperoleh nilai *Pillai Trace*:

$$V = 0.9758 + 0 + 0 = 0.9758.$$

Untuk $K = 3$:

$$H = \begin{bmatrix} 1.2102 & -1.5583 & -0.8954 \\ -1.5583 & 7.7079 & -4.1762 \\ -0.8954 & -4.1762 & 5.6436 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 6.7897 & 0.2665 & -1.3779 \\ 0.2665 & 0.2920 & -0.7471 \\ -1.3779 & -0.7471 & 2.3563 \end{bmatrix}$$

$$E^{-1}H = \begin{bmatrix} -0.9163 & 2.8782 & -0.9095 \\ -36.2090 & 124.5539 & -46.0553 \\ -12.3969 & 39.4042 & -12.7400 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 = 108.8916, \lambda_2 = 2.0060, \lambda_3 = 0$$

$$\frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1} = \frac{108.8916}{109.8916} = 0.9909$$

$$\frac{\lambda_2}{1 + \lambda_2} = \frac{2.0060}{3.0060} = 0.6673$$

$$\frac{\lambda_3}{1 + \lambda_3} = \frac{0}{1} = 0,$$

diperoleh nilai *Pillai Trace*:

$$V = 0.9909 + 0.6673 + 0 = 1.6582.$$

Untuk $K = 4$:

$$H = \begin{bmatrix} 1.2159 & -1.5870 & -0.8059 \\ -1.5870 & 7.8546 & -4.6330 \\ -0.8059 & -4.6330 & 7.0654 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 6.7840 & 0.2952 & -1.4673 \\ 0.2952 & 0.1453 & -0.2904 \\ -1.4673 & -0.2904 & 0.9345 \end{bmatrix}$$

$$E^{-1}H = \begin{bmatrix} -1.3478 & 2.4533 & 0.7929 \\ -37.2613 & 123.5177 & -41.9034 \\ -14.5573 & 37.2769 & -4.2161 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 = 108.9283, \lambda_2 = 8.9927, \lambda_3 = 0.0327$$

$$\frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1} = \frac{108.9283}{109.9283} = 0.9909$$

$$\frac{\lambda_2}{1 + \lambda_2} = \frac{8.9927}{9.9927} = 0.9000$$

$$\frac{\lambda_3}{1 + \lambda_3} = \frac{0.0327}{1.0327} = 0.0317,$$

diperoleh nilai *Pillai's Trace*:

$$V = 0.9909 + 0.9000 + 0.0317 = 1.9225.$$

Untuk $K = 5$:

$$H = \begin{bmatrix} 7.1042 & -1.2329 & -2.2558 \\ -1.2329 & 7.8759 & -4.7202 \\ -2.2558 & -4.7202 & 7.4224 \end{bmatrix},$$

$$E = \begin{bmatrix} 0.8957 & -0.0588 & -0.0174 \\ -0.0588 & 0.1240 & -0.2032 \\ -0.0174 & -0.2032 & 0.5775 \end{bmatrix},$$

$$E^{-1}H = \begin{bmatrix} 5.5601 & 7.7365 & -5.6897 \\ -31.6823 & 127.7846 & -47.1389 \\ -14.8855 & 37.0259 & -3.9081 \end{bmatrix},$$

$$\lambda_1 = 111.1781, \lambda_2 = 13.3871, \lambda_3 = 4.8713$$

$$\frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1} = \frac{111.1781}{112.1781} = 0.9910$$

$$\frac{\lambda_2}{1 + \lambda_2} = \frac{13.3871}{14.3871} = 0.9304$$

$$\frac{\lambda_3}{1 + \lambda_3} = \frac{4.8713}{5.8713} = 0.8296,$$

diperoleh nilai *Pillai's Trace*:

$$V = 0.9910 + 0.9304 + 0.8296 = 2.7512.$$

Untuk $K = 6$:

$$H = \begin{bmatrix} 7.9343 & -1.3632 & -2.1227 \\ -1.3632 & 7.8963 & -4.7410 \\ -2.1227 & -4.7410 & 7.4437 \end{bmatrix},$$

$$E = \begin{bmatrix} 0.0656 & 0.0714 & -0.1505 \\ -0.0714 & 0.1036 & -0.1823 \\ -0.1505 & -0.1823 & 0.5562 \end{bmatrix},$$

$$E^{-1}H = \begin{bmatrix} 609.9156 & -424.2132 & 76.3326 \\ -354.0376 & 358.1810 & -90.8885 \\ 45.2331 & -5.9425 & 4.2510 \end{bmatrix},$$

$$\lambda_1 = 896.8692, \lambda_2 = 64.6325, \lambda_3 = 10.8459$$

$$\frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1} = \frac{896.8692}{897.8692} = 0.9989$$

$$\frac{\lambda_2}{1 + \lambda_2} = \frac{64.6325}{65.6325} = 0.9848$$

$$\frac{\lambda_3}{1 + \lambda_3} = \frac{10.8459}{11.8459} = 0.9156,$$

diperoleh nilai *Pillai's Trace*:

$$V = 0.9989 + 0.9848 + 0.9156 = 2.8992,$$

Berikut ringkasan hasil MANOVA pada setiap klaster yang terbentuk dengan statistik uji *Pillai's Trace* untuk setiap klaster disajikan pada Tabel 4.16 yang menunjukkan seluruh klaster menghasilkan nilai *P-Value* kurang dari 0.05. Maka tolak H_0 untuk semua klaster, artinya bahwa pada setiap klaster yang diuji terdapat perbedaan rata-rata multivariat antar klaster berdasarkan variabel curah hujan, suhu, dan kelembapan.

Tabel 4.16 Hasil MANOVA dengan *Pillai's Trace*

K klaster	<i>Pillai's Trace</i>	<i>P-Value</i>	Keputusan
2	0.9758	0.0001	Tolak H_0
3	1.6582	0.0022	Tolak H_0
4	1.9225	0.0301	Tolak H_0
5	2.7512	0.0001	Tolak H_0
6	2.8992	0.0000	Tolak H_0

Dengan demikian, partisi klaster yang dihasilkan metode SKATER secara statistik mampu membedakan karakteristik antar kelompok wilayah. Nilai *Pillai's Trace* terbesar diperoleh pada jumlah klaster $K = 6$ sebesar 2.8992, yang menunjukkan tingkat pemisahan multivariat antar klaster paling baik dibandingkan klaster lainnya. Selain itu, Jika dibandingkan dengan nilai $Q(\Pi)$ menghasilkan nilai total SSD paling kecil, yaitu 0.7255, yang menunjukkan tingkat homogenitas dalam klaster paling tinggi. Berdasarkan dua kriteria tersebut, yaitu perbedaan multivariat antar klaster yang paling kuat dan homogenitas dalam klaster yang paling baik, maka jumlah klaster optimal yang dipilih adalah 6 klaster ($K = 6$). Kemudian dilakukan evaluasi hasil klaster menggunakan *Davies-Bouldin Index* (DBI).

4.6 Evaluasi Hasil Klaster Optimal

Evaluasi hasil klaster optimal dilakukan menggunakan *Davies-Bouldin Index* (DBI). Nilai DBI digunakan untuk menentukan hasil klaster yang memiliki tingkat optimalitas yang paling tinggi. Semakin kecil nilai DBI, semakin baik kualitas klaster yang terbentuk karena menunjukkan bahwa objek dalam klaster yang sama memiliki jarak yang minimum antar objek dalam klaster. Berdasarkan hasil perhitungan dengan bantuan *software* RStudio diperoleh nilai DBI untuk masing-masing klaster yang diuji, dapat dilihat pada Tabel 4.17. Nilai DBI terkecil diperoleh pada pengelompokan 6 klaster, yaitu sebesar 0.2733. Karena nilai DBI yang lebih kecil menunjukkan kualitas klaster yang lebih baik, didukung dengan nilai *Pillai Trace* terbesar pada 6 klaster ($K = 6$), maka pengelompokan 6 klaster dipilih sebagai hasil yang paling optimal. Hasil ini mengindikasikan bahwa klaster yang terbentuk memiliki tingkat homogenitas yang tinggi di dalam klaster dan

heterogenitas yang tinggi antar klaster. Kemudian dilakukan interpretasi lebih lanjut terhadap hasil klaster optimal terhadap kondisi kekeringan di lapangan untuk memahami pola dan tingkat kerawanan kekeringan pada masing-masing stasiun meteorologi.

Tabel 4.17 Hasil *Davies-Bouldin Index* (DBI)

<i>K</i> klaster	Nilai DBI
2	0.3672
3	0.4408
4	0.5903
5	0.3320
6	0.2733

4.7 Hasil Klaster Optimal terhadap Kondisi Kekeringan di Lapangan

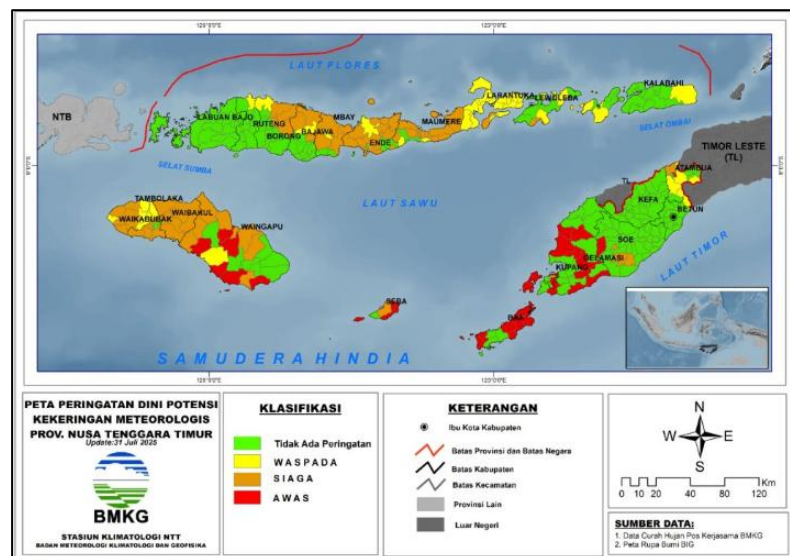
Hasil klaster optimal yang diperoleh selanjutnya dievaluasi dengan mengaitkannya terhadap kondisi kekeringan di lapangan sebagai bentuk validasi empiris. Salah satu indikator kuat yang mendukung hasil penelitian ini adalah kejadian kekeringan ekstrem di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) pada tahun 2025. Berdasarkan laporan yang disampaikan oleh Risfil (2025), wilayah NTT mengalami periode hari tanpa hujan yang sangat panjang, mencapai hingga 94 hari selama musim kemarau. Kondisi ini menunjukkan adanya defisit curah hujan berkepanjangan, yang secara klimatologis berpotensi menyebabkan penurunan kelembapan udara serta peningkatan suhu permukaan. Berdasarkan kondisi tersebut, BMKG mengingatkan otoritas sektor pertanian dan pengelolaan sumber daya air mengantisipasi risiko kekeringan. Hingga kebakaran hutan dan lahan (karhutla). Wilayah-wilayah yang mengalami durasi hari tanpa hujan terpanjang tersebut mencakup beberapa kabupaten/kota seperti Kota Kupang, Kabupaten Kupang, Belu, Sumba Timur, dan Sabu Raijua. Fenomena ini sejalan dengan hasil klasterisasi yang diperoleh dalam penelitian, di mana kelompok dengan nilai rata-

rata curah hujan rendah, suhu tinggi, dan kelembapan rendah cenderung teridentifikasi sebagai klaster dengan tingkat kerawanan kekeringan yang lebih tinggi.

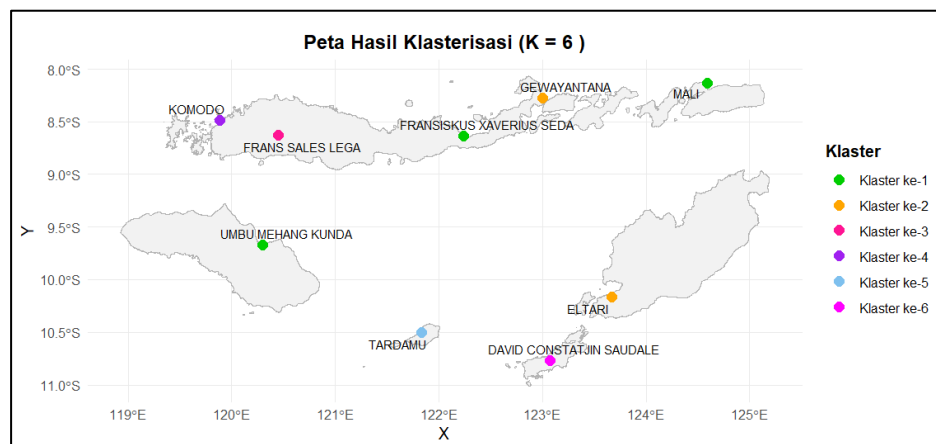
Hasil analisis juga diperkuat oleh Timex Kupang (2026), sekitar 73% wilayah NTT tergolong dalam kategori rawan kekeringan. Kondisi ini semakin diperparah oleh prediksi kemunculan fenomena El Nino. Dampak El Nino tidak hanya menyebabkan cuaca ekstrem, tetapi juga berpyensi memperburuk kondisi sosial ekonomi masyarakat. Selain itu, wilayah NTT secara umum telah memasuki musim kemarau sejak April, sehingga masyarakat harus meningkatkan kewaspadaan.

Sebagai bentuk validasi lebih lanjut, hasil penelitian dibandingkan dengan peta peringatan dini kekeringan yang dirilis oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) tahun 2025, dapat dilihat pada Gambar 4.16. Pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17, Peta tersebut mengklasifikasikan tingkat kekeringan ke dalam beberapa klasifikasi, yaitu tidak ada peringatan, waspada, siaga, dan awas, yang didasarkan pada indikator curah hujan dari pos pengamatan kerja sama BMKG. Hasil penelitian menunjukkan untuk Stasiun Fransiskus Xaverius Seda dan Umbu Meheng Kunda yang masuk ke dalam Klaster ke-1, yang diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan sangat parah, dimana stasiun tersebut berada pada wilayah yang oleh BMKG diklasifikasikan siaga. Stasiun Gewayantana dan Eltari yang masuk ke dalam Klaster ke-2 yang diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan parah, dimana stasiun tersebut berada pada wilayah yang oleh BMKG diklasifikasikan waspada hingga awas.

Stasiun Fransales Lega yang masuk ke dalam Klaster ke-3 diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi tidak rawan terhadap kekeringan, dimana stasiun tersebut berada pada wilayah yang oleh BMKG diklasifikasikan tidak ada peringatan. Stasiun David Constatjin Saudale yang masuk ke dalam Klaster ke-6 diinterpretasikan sebagai klaster yang cenderung menunjukkan kondisi kerawanan kekeringan ringan, dimana stasiun tersebut berada pada wilayah yang oleh BMKG diklasifikasikan tidak ada peringatan tetapi daerah disekitarnya masuk kategori awas.



Gambar 4.16 Peta Peringatan Dini Potensi Kekeringan Meteorologis di NTT



Gambar 4.17 Peta Hasil Klaster Optimal ($K = 6$)

Kesesuaian ini menunjukkan bahwa metode klasterisasi yang digunakan dalam penelitian ini mampu merepresentasikan kondisi kekeringan secara konsisten dengan peta peringatan dini resmi dari BMKG, meskipun pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan variabel yang lebih komprehensif. Sementara itu, terdapat perbedaan pada dua stasiun, seperti Stasiun Komodo yang masuk ke dalam Klaster ke-4 dengan kondisi cenderung kekeringan sedang dan Stasiun Mali yang masuk ke dalam Klaster ke-1 dengan kondisi cenderung kekeringan parah, tetapi kedua stasiun tersebut berada pada wilayah yang oleh BMKG diklasifikasikan tidak ada peringatan. Perbedaan ini tidak berarti menunjukkan ketidaktepatan hasil penelitian, melainkan dapat disebabkan oleh karakteristik data yang digunakan serta rentang waktu yang digunakan. Peta BMKG disusun berdasarkan satu variabel utama, yaitu curah hujan, sedangkan penelitian ini menggunakan kombinasi tiga variabel klimatologis yang memungkinkan deteksi kondisi kekeringan secara lebih sensitif. Selain itu, penggunaan data harian dalam penelitian ini berpotensi mengandung nilai hilang (*missing value*) yang dapat memengaruhi hasil variasi dalam pengelompokan. Perbedaan rentang waktu data, yaitu periode 2022–2025 pada penelitian dan tahun 2025 pada BMKG, juga turut memengaruhi hasil yang diperoleh.

Selain itu, variabilitas iklim global seperti El Nino juga berperan penting dalam memengaruhi pola kekeringan di wilayah NTT, yang terjadi pada periode 2023–2024. Berdasarkan laporan Arif (2024), fenomena El Nino mencapai puncaknya pada Desember 2023 hingga Januari 2024 dengan kategori moderat, yang ditandai oleh peningkatan suhu permukaan laut di Samudra Pasifik bagian tengah dan timur. Dampak dari fenomena ini tidak hanya dirasakan pada saat

kejadian puncak, tetapi juga berlanjut pada tahun berikutnya dalam bentuk mundurnya awal musim hujan serta penurunan curah hujan secara signifikan di wilayah Indonesia bagian timur, khususnya NTT. Secara empiris, kondisi ini ditunjukkan oleh berkurangnya frekuensi hari hujan, curah hujan yang berada di bawah normal, serta peningkatan jumlah hari kering, yang berdampak langsung pada sektor pertanian dan ketersediaan air bersih.

Fenomena tersebut sejalan dengan hasil klasterisasi yang menunjukkan dominasi wilayah dengan karakteristik kering. Dengan demikian, keberadaan fenomena El Nino tidak hanya memperkuat interpretasi hasil klasterisasi, tetapi juga menjelaskan dinamika temporal dari kondisi kekeringan yang diamati dalam rentang data penelitian Tahun 2022 hingga 2025. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengelompokan yang diperoleh tidak hanya mencerminkan pola matematis, tetapi juga dipengaruhi oleh dinamika iklim global yang terjadi selama periode penelitian. Oleh karena itu, integrasi antara analisis matematis melalui metode klasterisasi dan pemahaman terhadap fenomena klimatologis global menjadi penting dalam menghasilkan interpretasi yang lebih komprehensif dan kontekstual terhadap kondisi kekeringan di wilayah Nusa Tenggara Timur.

4.8 Kajian Nilai-Nilai Keislaman dengan Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode SKATER (*Spatial 'K'luster Analysis by Tree Edge Removal*) mampu membentuk pengelompokan objek lokasi yang memiliki karakteristik rawan kekeringan yang relatif homogen secara spasial. Proses pengelompokan dilakukan dengan mempertimbangkan kedekatan objek lokasi dan kesamaan nilai variabel klimatologis, sehingga zona yang terbentuk tidak hanya serupa secara numerik, tetapi juga terhubung secara

geografis. Dengan pendekatan ini, zona rawan kekeringan dapat diidentifikasi secara lebih terstruktur dan proporsional. Prinsip pengelompokan berbasis kedekatan dan kemiripan karakteristik dalam metode SKATER mencerminkan adanya pola keteraturan dan keseimbangan dalam fenomena alam. Dalam perspektif Islam, keteraturan dan keseimbangan merupakan sunnatullah dalam penciptaan alam semesta. Fenomena distribusi hujan, ketersediaan air, serta kondisi kekeringan tidak terjadi secara acak, melainkan berada dalam ukuran dan ketentuan tertentu. Oleh karena itu, upaya ilmiah untuk memetakan dan mengelompokkan zona rawan kekeringan dapat dipandang sebagai bentuk ikhtiar manusia dalam membaca pola ketetapan Allah SWT di alam.

Hal ini sejalan dengan firman Allah SWT dalam Q.S. An-Nahl ayat 10 sampai 11 yang menjelaskan bahwa air hujan merupakan sumber kehidupan yang menumbuhkan berbagai tanaman dan menopang keberlangsungan makhluk hidup. Ayat tersebut menegaskan bahwa air adalah nikmat sekaligus tanda kebesaran Allah bagi orang-orang yang berpikir. Melalui analisis spasial dan pengelompokan zona kekeringan, penelitian ini merupakan bentuk aktivitas berpikir dan pengkajian ilmiah terhadap tanda-tanda tersebut, sehingga manusia tidak hanya menerima fenomena alam, tetapi juga berusaha memahaminya secara sistematis. Selain itu, Q.S. Az-Zukhruf ayat 11 menegaskan bahwa Allah menurunkan air dari langit menurut ukuran. Konsep menurut ukuran menunjukkan adanya prinsip proporsionalitas dan ketepatan dalam sistem alam. Relevansinya dengan metode SKATER terletak pada proses pembentukan klaster yang dilakukan berdasarkan ukuran kedekatan spasial dan kesamaan data secara terukur. Setiap wilayah tidak dikelompokkan secara sembarangan, tetapi melalui perhitungan jarak

dan kemiripan variabel. Sehingga, proses klasterisasi mencerminkan pendekatan ilmiah yang memperhatikan ukuran, proporsi, dan keteraturan.

Dalam tafsir Al-Misbah dijelaskan bahwa keseimbangan distribusi air merupakan bagian dari rahmat Allah sekaligus ujian bagi manusia. Ketika terjadi ketidakseimbangan seperti kekeringan, manusia dituntut untuk melakukan usaha perbaikan dan pengelolaan yang bijak. Pemetaan dan pengelompokan zona rawan kekeringan melalui metode SKATER dapat dipandang sebagai bentuk tanggung jawab ilmiah dalam menjaga amanah pengelolaan bumi. Informasi zona yang dihasilkan memungkinkan pihak terkait menyusun langkah mitigasi yang lebih tepat sasaran, sehingga risiko kerugian dapat ditekan. Dari sudut pandang etika keilmuan Islam, kegiatan analisis data spasial juga termasuk bagian dari ikhtiar ilmiah, yaitu usaha sungguh-sungguh menggunakan akal dan metode yang sah untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik terhadap realitas. Penggunaan metode kuantitatif dan komputasional seperti SKATER menunjukkan bahwa teknologi dan matematika dapat menjadi sarana untuk mewujudkan kemaslahatan, khususnya dalam pengelolaan sumber daya air dan perlindungan wilayah rawan kekeringan.

Dengan demikian, penerapan metode SKATER dalam penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi teknis dalam pengelompokan wilayah rawan kekeringan, tetapi juga selaras dengan nilai-nilai Islam tentang pentingnya berpikir, meneliti, dan mengelola karunia alam secara bertanggung jawab. Analisis spasial menjadi sarana membaca tanda-tanda kebesaran Allah di alam, sedangkan hasil pengelompokan zona rawan kekeringan menjadi dasar ikhtiar manusia dalam menjaga keseimbangan dan keberlanjutan kehidupan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pengelompokan zona rawan kekeringan di Provinsi Nusa Tenggara Timur menggunakan metode *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER), dapat disimpulkan bahwa metode SKATER mampu mengelompokkan wilayah berdasarkan kemiripan karakteristik klimatologis sekaligus mempertahankan keterhubungan spasial antarwilayah. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan klaster spasial yang digunakan relevan untuk menganalisis fenomena kekeringan yang memiliki keterkaitan geografis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa klaster optimal yang diperoleh adalah enam klaster ($K = 6$). Pemilihan ini didukung oleh hasil uji MANOVA menggunakan *Pillai's Trace* yang menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar klaster ($P\text{-Value} < 0.05$), sehingga masing-masing klaster memiliki karakteristik yang berbeda secara statistik.

Selain itu, nilai *Davies–Bouldin Index* (DBI) pada $K = 6$ menunjukkan nilai paling kecil dibandingkan jumlah klaster lainnya, yang mengindikasikan bahwa klaster memiliki tingkat kompaksi yang baik dan separasi antar klaster yang optimal. Pengelompokan ini menghasilkan pembagian zona kekeringan yang lebih rinci, mulai dari Klaster ke-1 cenderung menunjukkan kondisi rawan kekeringan sangat parah kering hingga Klaster ke-6 cenderung menunjukkan kondisi yang tidak rawan terhadap kekeringan, sehingga mampu menggambarkan variasi tingkat kerawanan kekeringan di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Informasi pengelompokan ini dapat mendukung penentuan lokasi prioritas dalam upaya

mitigasi dan pengelolaan risiko kekeringan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi secara metodologis, tetapi juga memiliki nilai praktis sebagai dasar pengambilan kebijakan dalam mengantisipasi dampak kekeringan di wilayah tersebut.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya diantaranya dapat dilakukan perbandingan metode SKATER dengan metode pengelompokan spasial lainnya untuk mengevaluasi kestabilan dan konsistensi struktur klaster yang terbentuk, sehingga dapat diperoleh gambaran keunggulan dan keterbatasan metode secara lebih komprehensif. Selain itu dapat melakukan pengujian MANOVA menggunakan statistik uji lainnya seperti *Wilks' Lambda*, *Hotelling–Lawley Trace*, atau *Roy's Largest Root* sebagai pembanding terhadap *Pillai's Trace* dan DBI sehingga hasil pengujian perbedaan multivariat antar klaster dapat divalidasi secara lebih komprehensif.

Selain itu, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh BMKG dan instansi terkait lainnya sebagai dasar dalam meningkatkan sistem pemantauan kekeringan, khususnya dengan memberikan perhatian lebih pada wilayah di Nusa Tenggara Timur yang termasuk dalam klaster dengan tingkat kekeringan tinggi. Hal ini dapat dilakukan melalui optimalisasi jaringan stasiun meteorologi, terutama pada wilayah yang sebelumnya belum terpantau secara maksimal. Selain itu, hasil zonasi kekeringan ini dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam penyusunan kebijakan mitigasi, seperti penentuan wilayah prioritas penanganan kekeringan, perencanaan distribusi air bersih, serta penguatan sistem peringatan dini agar lebih tepat sasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Antara. (2025, 14 Agustus). *Kekeringan, BMKG: NTT dan NTB alami hari kurang hujan terpanjang*. ANTARA.
<https://www.antaranews.com/berita/5037501/kekeringan-bmkg-ntt-dan-ntb-alami-hari-kurang-hujan-terpanjang>
- Ariyanto, D., Pramoedyo, H., & Nur Aini, N. (2021). Spatial Clustering Dengan Metode SKATER (K'Luster Analysis by Tree Edge Removal) Untuk Pengelompokan Sebaran Covid-19 di Kabupaten Tulungagung. *Konferensi Nasional Matematika XX*, 371–380.
<https://doi.org/10.30598/PattimuraSci.2021.KNMXX>
- Assunção, R. M., Neves, M. C., Câmara, G., & Da Costa Freitas, C. (2006). Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 797–811.
<https://doi.org/10.1080/13658810600665111>
- Azra, M. A. A. N. (2023). *Penggunaan Davies Bouldin Index dalam perbandingan algoritma K-means dan K-medoids untuk klasterisasi provinsi di Indonesia berdasarkan tingkat indikator ketenagakerjaan* [Skripsi sarjana, Universitas Jember]. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2019). *Buletin Stasiun Meteorologi Umu Mehang Kunda, Sumba Timur*. Waingapu: BMKG Stasiun Meteorologi Umu Mehang Kunda.
- BMKG. (2025). *BMKG Climate Outlook 2025*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Dirgantara, G. E., Novianti, I., & Bakti, R. D. (2020). Spatial Cluster untuk Pengelempokan Wilayah Setiap Provinsi di Indonesia Berdasarkan Karakteristik Kesenjangan Ekonomi. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2019(1), 430–437. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2019i1.63>
- Fadholi, A. (2016). Pemetaan Suhu Udara dan Kelembapan Udara dalam Persamaan Regresi Untuk Simulasi Prediksi Total Hujan Bulanan di Pangkalpinang. *AdMathEdu : Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Ilmu Matematika dan Matematika Terapan*, 3(1).
<https://doi.org/10.12928/admathedu.v3i1.4828>
- Getis, A., & Aldstadt, J. (2004). Constructing the spatial weights matrix using a local statistic. *Geographical Analysis*, 36(2), 90–104.
<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2004.tb01127>

- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (Eighth edition). Cengage.
- Harisqa, Z. (2024). *Penerapan Metode SKATER dalam Pengelompokan Sebaran Tempat Wisata di Pulau Bawean* [Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang].
- Jamro, S., Dars, G. H., Ansari, K., & Krakauer, N. Y. (2019). Spatio-temporal variability of drought in Pakistan using standardized precipitation evapotranspiration index. *Applied Sciences*, 9(21), 4588. <https://doi.org/10.3390/app9214588>
- Joarder, A. H. (2001). Six ways to look at linear interpolation. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 32(6), 932–937. <https://doi.org/10.1080/002073901317147915>
- Kementerian Agama Republik Indonesia. (2022). *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.
- Kharisudin, I., Faizah, A. N., & Suchaini, U. (2023). Analisis Kluster Spasial Data Infrastruktur Kesehatan Desa di Kabupaten Purworejo Menggunakan Metode SKATER. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 6(775–781). <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/prisma/>
- Kopczewska, K. (2022). Spatial machine learning: New opportunities for regional science. *The Annals of Regional Science*, 68(3), 713–755. <https://doi.org/10.1007/s00168-021-01101-x>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Muhammad, S., Long, X., & Salman, M. (2020). COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? *Science of The Total Environment*, 728, 138820. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138820>
- Ningsih, P. (2017). *Pembentukan Zona Musim Kabupaten Ngawi dengan Metode SKATER*. [Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- NU Online, (2025). *Beranda Islam Indonesia*. NU Online, <https://quran.nu.or.id>
- Risfil, A. (2025, 14 Agustus). *NTT dan NTB alami kekeringan ekstrem terpanjang 2025*. KBRN.
- Rinaldi, I. K. Y. (2017). *Penerapan Modifikasi Metode Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal (SKATER) pada Tingkat Kriminalitas di Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung*. [Tesis, Universitas Brawijaya].

- Sajeevan, G. (2008). Latitude and longitude – A misunderstanding. *Current Science*, 94(5), 585–586.
- Shihab, M. Q. (2002a). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, kesan dan keserasian Al-Qur'an*. (Vol. 1). Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. (2002b). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, kesan dan keserasian Al-Qur'an*. (Vol. 4). Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. (2002c). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, kesan dan keserasian Al-Qur'an*. (Vol. 6). Lentera Hati.
- Shihab, M. Q. (2002d). *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, kesan dan keserasian Al-Qur'an*. (Vol. 8). Lentera Hati.
- Timex Kupang. (2026, 14 April). *73 persen wilayah NTT terancam kekeringan, El Nino mengintai: Pemerintah diminta bertindak sebelum krisis meluas*. TimexKupang.
- World Meteorological Organization. (2016). *Handbook of drought indicators and indices* (Integrated Drought Management Programme, WMO-No. 1173). World Meteorological Organization.
- World Meteorological Organization. (2017). *WMO Guidelines on the calculation of climate normals* (WMO-No. 1203). World Meteorological Organization.
- Wongoutong, C. (2024). The impact of neglecting feature scaling in k-means clustering. *PLOS ONE*, 19(12), e0310839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310839>
- Yuliatin, I. L. (2017). *Pemodelan Kekeringan di Wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT) dengan Metod Statistical Downscaling Pra-Pemroses PCA*. [Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].

LAMPIRAN

Lampiran 1. Script RStudio Interpolasi Linier dan Nilai Rata-Rata

```
library(readxl)
library(dplyr)
library(lubridate)
library(zoo)
library(openxlsx)
data <- read_excel("C:\\KULIAH\\SKRIPSI\\DATA\\KAB. SUMBA TIMUR_UMBU
MEHANG KUNDA\\KAB. SUMBA TIMUR_UMBU_2024.xlsx", skip = 7)
names(data) <- c("TANGGAL", "TAVG", "RH_AVG", "RR")
data_bersih <- data %>%
  mutate(across(everything(), as.character)) %>%
  mutate(across(everything(), ~na_if(., "-"))) %>%
  mutate(across(everything(), ~na_if(., "8888"))) %>%
  mutate(TANGGAL = as.Date(TANGGAL, format = "%d-%m-%Y")) %>%
  mutate(across(-TANGGAL, as.numeric))
  mutate(Tahun = year(TANGGAL), Bulan = month(TANGGAL)) %>%
  group_by(Tahun, Bulan) %>%
  summarise(
    NA_TAVG = sum(is.na(TAVG)),
    NA_RH = sum(is.na(RH_AVG)),
    NA_RR = sum(is.na(RR)),
    max_gap_TAVG = max(with(rle(is.na(TAVG)), ifelse(any(values),
max(lengths[values]), 0))),
    max_gap_RH = max(with(rle(is.na(RH_AVG)), ifelse(any(values),
max(lengths[values]), 0))),
    max_gap_RR = max(with(rle(is.na(RR)), ifelse(any(values), max(lengths[values]), 0)))
  ) %>%
  mutate(
    Layak_TAVG = ifelse(NA_TAVG >= 11 | max_gap_TAVG >= 5, "Tidak Layak",
"Layak"),
    Layak_RH = ifelse(NA_RH >= 11 | max_gap_RH >= 5, "Tidak Layak", "Layak"),
    Layak_RR = ifelse(NA_RR >= 10 | max_gap_RR >= 5, "Tidak Layak", "Layak")
  )
data_interpolasi <- data_bersih %>%
  mutate(Tahun = year(TANGGAL), Bulan = month(TANGGAL)) %>%
  left_join(cek_kelayakan, by = c("Tahun", "Bulan")) %>%
  group_by(Tahun, Bulan) %>%
  mutate(
    TAVG = if (unique(Layak_TAVG) == "Layak") na.approx(TAVG, x = TANGGAL,
na.rm = FALSE) else TAVG,
    RH_AVG = if (unique(Layak_RH) == "Layak") na.approx(RH_AVG, x = TANGGAL,
na.rm = FALSE) else RH_AVG,
    RR = if (unique(Layak_RR) == "Layak") na.approx(RR, x = TANGGAL, na.rm =
FALSE) else RR
  ) %>%
  ungroup()
```

```

write.xlsx(data_interpolasi,
           "C:\\KULIAH\\SKRIPSI\\DATA\\KAB. SUMBA TIMUR_UMBU MEHANG
KUNDA\\KAB. SUMBA TIMUR_UMBU_2024_INTERPOLASI[1].xlsx",
           rowNames = FALSE)
cat("☒ Hasil interpolasi harian berhasil disimpan.\n")
data_bulanan <- data_interpolasi %>%
  mutate(Tahun = year(TANGGAL), Bulan = month(TANGGAL)) %>%
  group_by(Tahun, Bulan) %>%
  summarise(
    TAVG_Bulanan = mean(TAVG, na.rm = TRUE),
    RH_Bulanan   = mean(RH_AVG, na.rm = TRUE),
    RR_Bulanan   = mean(RR, na.rm = TRUE)
  )
write.xlsx(data_bulanan,
           "C:\\KULIAH\\SKRIPSI\\DATA\\KAB. SUMBA TIMUR_UMBU MEHANG
KUNDA\\KAB. SUMBA TIMUR_UMBU_2024_BULANAN[1].xlsx",
           rowNames = FALSE)

cat("☒ Data rata-rata bulanan berhasil dihitung dan disimpan.\n")
data_tahunan <- data_bulanan %>%
  group_by(Tahun) %>%
  summarise(
    TAVG_Tahunan = mean(TAVG_Bulanan, na.rm = TRUE),
    RH_Tahunan   = mean(RH_Bulanan, na.rm = TRUE),
    RR_Tahunan   = mean(RR_Bulanan, na.rm = TRUE)
  )
write.xlsx(data_tahunan,
           "C:\\KULIAH\\SKRIPSI\\DATA\\KAB. SUMBA TIMUR_UMBU MEHANG
KUNDA\\KAB. SUMBA TIMUR_UMBU_2024_TAHUNAN[1].xlsx",
           rowNames = FALSE)

cat("☒ Data tahunan berhasil dihitung dan disimpan.\n")

```

Lampiran 2. Nilai Rata-Rata Tahunan 9 Stasiun Meteorologi

a. Mali

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	3.6763	27.8764	82.4931
2023	3.2974	27.5168	80.4611
2024	3.6743	28.0503	80.5096
2025	3.5721	28.0508	78.7075

b. Gewayantana

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	28.0505	77.3962	4.7546
2023	4.2635	27.8504	76.2669
2024	32.3285	28.9204	75.9657
2025	31.9591	28.8674	76.2573

c. Tardamu

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	5.1624	28.3914	77.8765
2023	3.4403	28.1726	77.2083
2024	3.1904	28.7787	77.4099
2025	31.4283	28.1787	76.3325

d. Komodo

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	3.8910	27.4451	79.9392
2023	3.0512	27.3043	107.7613
2024	2.9646	28.0272	79.0722
2025	4.7669	27.5698	78.3862

e. Frans Sales Lega

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	16.6685	20.0917	85.4307
2023	9.4277	20.2983	84.1384
2024	10.7816	21.0430	85.2530
2025	12.4392	19.9947	87.2798

f. David Consrarjin Saudale

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	18.7040	26.6927	83.6260
2023	6.7405	26.7754	81.3332
2024	6.1498	27.2861	82.5368
2025	7.7811	26.8293	84.8048

g. Fransiskus Xaverius Seda

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	5.0439	27.9734	78.3888
2023	2.9623	27.9980	76.0689
2024	3.7845	28.2927	77.5799
2025	3.1373	27.9088	79.9862

h. Umbu Mehang Kunda

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	3.2028	27.4384	77.6867
2023	3.02352	7.1988	77.8526
2024	4.3048	27.7057	81.5554

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2025	3.8340	27.4335	81.0849

i. Eltari

Tahun	Curah Hujan (X_1)	Suhu (X_2)	Kelembapan (X_3)
2022	6.9165	27.2040	80.6668
2023	4.7824	27.2213	78.2241
2024	47.2935	27.8966	78.4083
2025	5.9370	27.5079	79.5558

Lampiran 3. Script RStudio Statistika Deskriptif & Standardisasi Data

```

data <- data.frame(
  STASIUN = c("Mali", "GEWAYANTANA", "TARDAMU", "KOMODO",
    "FRANS SALES LEGA", "DAVID CONSTATJIN SAUDALE",
    "FRANSISKUS XAVERIUS SEDA", "UMBU MEHANG KUNDA", "ELTARI"),

  X1 = c(3.555, 18.3264, 10.8053, 3.6684,
    12.3293, 9.8438, 3.732, 3.5913, 16.2324), # Curah Hujan (RR)

  X2 = c(27.8736, 28.4222, 28.3804, 27.5866,
    20.3569, 26.8959, 28.0432, 27.4441, 27.4575), # Suhu Rata-rata (TAVG)

  X3 = c(80.5429, 76.4715, 77.2068, 86.2897,
    85.5255, 83.0752, 78.0061, 79.5449, 79.2138) # Kelembapan (RH)
)

# --- 2. Fungsi Statistik Deskriptif ---
stat_deskriptif <- function(data) {
  mean_vals <- colMeans(data[, 2:4])
  sd_vals <- apply(data[, 2:4], 2, sd)
  data.frame(
    Variabel = names(mean_vals),
    Mean = mean_vals,
    Standar_Deviasi = sd_vals
  )
}

zscore_standardisasi <- function(data) {
  z_data <- as.data.frame(scale(data[, 2:4]))
  z_data$STASIUN <- data$STASIUN
  z_data <- z_data[, c("STASIUN", "X1", "X2", "X3")]
  return(z_data)
}

deskriptif_2022_2025 <- stat_deskriptif(data)
zscore_2022_2025 <- zscore_standardisasi(data)
cat("=== Statistik Deskriptif Data Rata-rata 2022–2025 ===\n")
print(deskriptif_2022_2025)

cat("\n=== Data Setelah Standardisasi Z-score ===\n")
print(zscore_2022_2025)
if (!require(openxlsx)) install.packages("openxlsx")
library(openxlsx)

wb <- createWorkbook()
addWorksheet(wb, "Statistik_Deskriptif")
addWorksheet(wb, "Zscore")

saveWorkbook(wb, "Statistik_Standardisasi_2022_2025.xlsx", overwrite = TRUE)

cat("\n ☒ File 'Statistik_Standardisasi_2022_2025.xlsx' berhasil disimpan!\n")

```

Lampiran 4. Script RStudio Metode SKATER, MANOVA, dan DBI

```

library(sf)
library(spdep)
library(readxl)
library(dplyr)
library(igraph)
library(ggplot2)
library(ggrepel)
library(RColorBrewer)
ntt <- st_read("D:/KULIAH/SKRIPSI/PETA/gadm41_IDN_1.shp") |>
  subset(NAME_1 == "Nusa Tenggara Timur")

stasiun <- read_excel("D:/KULIAH/SKRIPSI/DATA/DATA ASLI/DATA SKRIPSI.xlsx")
stasiun$STASIUN <- toupper(stasiun$STASIUN)
stasiun$STASIUN <- gsub("FRANSISKUS SAVERIUS SEDA",
  "FRANSISKUS XAVERIUS SEDA",
  stasiun$STASIUN)
stasiun_sf <- st_as_sf(
  stasiun,
  coords = c("X5(bujur)", "X4(lintang)"),
  crs = 4326
)

ntt_proj <- st_transform(ntt, 3857)
stasiun_sf_proj <- st_transform(stasiun_sf, 3857)

coords <- st_coordinates(stasiun_sf_proj)
variabel <- c("X1(curah hujan)", "X2(suhu)", "X3(kelembapan)")
X <- as.matrix(stasiun[, variabel])
euclid_dist <- as.matrix(dist(X, method = "euclidean"))
print(round(euclid_dist, 3))

k_nn <- 4
knn <- knearneigh(coords, k = k_nn)
nb <- knn2nb(knn)
nb_sym <- make.sym.nb(nb)
graph_nb <- graph_from_adj_list(nb_sym, mode = "all")
cat("\nConnectivity Check:\n")
if (is_connected(graph_nb)) {
  cat("GRAPH CONNECTED ✓\n")
} else {
  cat("GRAPH NOT CONNECTED ✗\n")
}

```

```

plot(st_geometry(ntt_proj),
     col = "gray90",
     main = paste("KNN Graph (k =", k_nn, ")"))

plot(nb, coords, add = TRUE, col = "blue")
points(coords, pch = 19, col = "red")

text(coords[,1], coords[,2],
     labels = stasiun$STASIUN,
     pos = 3, cex = 0.8)
nb_sym <- make.sym.nb(nb)
edge_list <- cbind(
  rep(seq_along(nb_sym), lengths(nb_sym)),
  unlist(nb_sym)
)
edge_list <- t(apply(edge_list, 1, sort))
edge_list <- unique(edge_list)
edge_weight <- apply(edge_list, 1, function(e) {
  sqrt(sum((X[e[1], ] - X[e[2], ])^2))
})
edges_df <- data.frame(
  from = edge_list[,1],
  to = edge_list[,2],
  weight = edge_weight
)
print(edges_df)
graph_full <- graph_from_data_frame(edges_df, directed = FALSE)
E(graph_full)$weight <- edges_df$weight
mst_graph <- mst(graph_full)
mst_edges <- as_edgelist(mst_graph)
n_edges <- nrow(mst_edges)
get_colors <- function(k) {
  if (k <= 8) {
    brewer.pal(max(3, k), "Set2")
  } else {
    rainbow(k)
  }
}
step_colors <- get_colors(min(8, n_edges))
plot(st_geometry(ntt_proj),
     col = "gray90",
     main = "Minimum Spanning Tree (MST)")
plot(st_geometry(stasiun_sf_proj),
     add = TRUE,
     col = "red",
     pch = 19)
for (i in 1:nrow(mst_edges)) {
  a <- as.integer(mst_edges[i,1])
  b <- as.integer(mst_edges[i,2])
  lines(coords[c(a,b),1],
        coords[c(a,b),2],
        col = step_colors[(i %% length(step_colors)) + 1],
        lwd = 2)
}

```

```

text(coords[,1], coords[,2],
      labels = stasiun$STASIUN,
      pos = 3, cex = 0.8)
for (i in 1:nrow(mst_edges)) {
  plot(st_geometry(ntt_proj),
        col = "gray90",
        main = paste("MST Step", i))
  plot(st_geometry(stasiun_sf_proj),
        add = TRUE,
        col = "red",
        pch = 19)
  for (j in 1:i) {
    a <- as.integer(mst_edges[j,1])
    b <- as.integer(mst_edges[j,2])
    lines(coords[c(a,b),1],
          coords[c(a,b),2],
          col = "blue",
          lwd = 2)
  }
  text(coords[,1], coords[,2],
        labels = stasiun$STASIUN,
        pos = 3, cex = 0.8)
}
compute_ssd <- function(cluster, X) {
  total <- 0
  for (cl in unique(cluster)) {
    Xi <- X[cluster == cl, , drop = FALSE]
    center <- colMeans(Xi)
    total <- total +
      sum(rowSums((Xi - matrix(center,
                                nrow(Xi),
                                ncol(Xi),
                                byrow = TRUE))^2))
  }
  return(total)
}
skater <- function(mst_graph, X, k) {
  g <- mst_graph
  while (components(g)$no < k) {
    best_score <- Inf
    best_edge <- NULL
    for (e in E(g)) {
      g_temp <- delete_edges(g, e)
      cluster_temp <- components(g_temp)$membership
      score <- compute_ssd(cluster_temp, X)
      if (score < best_score) {
        best_score <- score
        best_edge <- e
      }
    }
    g <- delete_edges(g, best_edge)
  }
  return(g)
}

```

```

color_map <- c("green3", "orange", "deeppink", "purple", "skyblue2",
              "brown", "gold", "black")
plot_skater <- function(sf_data, title_text) {
  ggplot() +
    geom_sf(data = ntt_proj, fill = "gray95") +
    geom_sf(data = sf_data, aes(color = cluster), size = 3) +
    geom_text_repel(
      data = cbind(sf_data, st_coordinates(sf_data)),
      aes(X, Y, label = STASIUN),
      size = 3
    ) +
    scale_color_manual(values = color_map) +
    ggtitle(title_text) +
    theme_minimal()
}
for (k_opt in 2:8) {
  skater_result <- skater(mst_graph, X, k_opt)
  cluster <- components(skater_result)$membership
  stasiun_sf_proj$cluster <- factor(cluster)
  print(plot_skater(stasiun_sf_proj,
                    paste("SKATER Clustering (k =", k_opt, ")")))

  Sys.sleep(0.5)
}

```

RIWAYAT HIDUP



Maulany Az-Zahra, lahir di Subang pada tanggal 1 Mei 2004. Penulis berdomisili di Kecamatan Binong, Kabupaten Subang. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putri dari pasangan Bapak Imam Muslih dan Ibu Euis Laelasari. Perjalanan pendidikan penulis di mulai di TK Al-Madani dan lulus pada tahun 2010. Selanjutnya, penulis melanjutkan ke jenjang sekolah dasar di SD Negeri Binong I dan lulus pada tahun 2016. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Negeri 1 Binong dan lulus pada tahun 2019. Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang menengah atas di MAN 2 Subang dan lulus pada tahun 2022. Pada jenjang ini, penulis aktif berorganisasi sebagai anggota OSIS, yang menjadi wadah pengembangan kepemimpinan dan tanggung jawab sosial. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Strata 1 di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan memilih Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi. Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif berpartisipasi dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan, khususnya sebagai anggota Himpunan Program Studi (HMPS) “Integral Matematika” Divisi Kematematikaan selama satu periode yaitu pada tahun 2023.



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 : Maulany Az-Zahra
NIM : 220601110003
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi : Penerapan Metode *Spatial K'luster Analysis by Tree Edge Removal* (SKATER) untuk Pengelompokan Zona Rawan Kekeringan (Studi Kasus: Provinsi Nusa Tenggara Timur)
Pembimbing I : Dr. Fachrur Rozi, M.Si.
Pembimbing II : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	19 September 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	1.
2.	30 September 2025	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	2.
3.	7 Oktober 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	3.
4.	8 Oktober 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	3.
5.	9 Oktober 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	5.
6.	24 Oktober 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	6.
7.	27 Oktober 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	7.
8.	29 Oktober 2025	ACC Bab I, II, dan III	8.
9.	31 Oktober 2025	ACC Seminar Proposal	9.
10.	13 November 2025	ACC Kajian Agama Bab I dan II	10.
11.	22 Desember 2025	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	11.
12.	23 Februari 2026	Konsultasi Bab IV dan V	12.
13.	2 Maret 2026	ACC Bab IV dan V	13.
14.	3 Maret 2026	ACC Seminar Hasil	14.
15.	4 Maret 2026	ACC Kajian Agama Bab IV	15.



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

16.	7 Mei 2026	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	16. <i>Tr</i>
17.	11 Mei 2026	ACC Sidang Skripsi	17. <i>Tr</i>
18.	26 Mei 2026	ACC Keseluruhan	18. <i>Tr</i>

Malang, 26 Mei 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



D. Eachrur Rozi, M.Si.

NIP. 19800527 200801 1 012