

**ANALISIS DAMPAK FENOMENA EL-NINO TERHADAP PARAMETER
NDVI (*NORMALIZED DIFFERENTION VEGETATION INDEX*) DAN LST
(*LAND SURFACE TEMPERATUR*) DI PULAU MADURA DENGAN
MENGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT-8**

SKRIPSI

Oleh:
HOSRAINI
NIM.200604110032



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PENGANTAR

**ANALISIS DAMPAK FENOMENA EL-NINO TERHADAP PARAMETER
NDVI (*NORMALIZED DIFFERENTIATION VEGETATION INDEX*) DAN LST
(*LAND SURFACE TEMPERATUR*) DI PULAU MADURA DENGAN
MENGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT-8**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
HOSRAINI
NIM.200604110032**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS DAMPAK FENOMENA EL-NINO TERHADAP PARAMETER
NDVI (*NORMALIZED DIFFERENTION VEGETATION INDEX*) DAN LST
(*LAND SURFACE TEMPERATUR*) DI PULAU MADURA DENGAN
MENGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT-8

SKRIPSI

Oleh:
Hosraini
NIM. 200604110032

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 26 Juni 2025

Pembimbing I



Rusli, M.Si
NIP. 19880715 202012 1 003

Pembimbing II



Ahmad Luthfin, M.Si
NIP. 19860504 201903 1 009



Mengetahui,
Ketua Program Studi

Dr. Irfan Tazi, M.Si
407302003121002

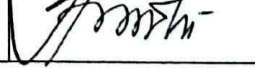
HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS DAMPAK FENOMENA EL-NINO TERHADAP PARAMETER
NDVI (*NORMALIZED DIFFERENTION VEGETATION INDEX*) DAN LST
(*LAND SURFACE TEMPERATUR*) DI PULAU MADURA DENGAN
MENGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT-8

SKRIPSI

Oleh:
Hosraini
NIM. 200604110032

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 26 Juni 2025

Ketua Penguji	:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji I	:	<u>Prof. Dr. H. Moh. Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji II	:	<u>Rusli, M.Si</u> NIP. 19880715 202012 1 003	
Anggota Penguji III	:	<u>Ahmad Luthfin, M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	

Mengesahkan,
Program Studi,

Dr. H. Tazki, M.Si
NIP. 197302003121002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : HOSRAINI
NIM : 200604110032
Program Studi : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Analisis Dampak Fenomena El-Nino Terhadap Parameter NDVI (*Normalized Differention Vegetation Index*) dan LST (*Land Surface Temperatur*) di Pulau Madura Dengan Menggunakan Citra Satelit Landsat-8

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 26 Juni 2025
Yang Membuat Pertanyaan,



Hosraini
NIM. 200604110032

MOTTO

“Orang lain gak akan bisa paham *struggle* dan masa sulitnya kita, yang mereka ingin tahu hanya bagian *Success Storiesnya*. Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun gak ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita di masa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini, tetap berjuang yaa !”

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu kebajikan), tetaplah bekerja keras (untuk kebajikan yang lain). Dan hanya kepada TUHAN mu lah engkau berharap”

-QS. Al-Insyirah: 6-8 -

“Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja lelah-lelah itu. Lebarakan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk menjadikan dirimu serupa yang kau impikan, mungkin tidak akan selalu berjalan lancar. Tapi, gelombang-gelombang itu yang nanti bisa kau ceritakan.”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim...

Puji syukur kehadiran Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan penuh kerendahan hati, perjuangan dan kesabaran yang luar biasa.

Keberhasilan dalam penulisan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari berbagai bantuan pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Teristimewa kedua orang tua saya Bapak Moh. Sirad dan Ibu Sapyatun dengan gelar sarjana ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, yang selalu memberikan dukungan serta doa yang tidak ada putusnya yang diberikan kepada penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan studi sarjana hingga selesai, semoga rahmat Allah Swt. selalu mengiringi kehidupanmu yang barokah, senantiasa diberi kesehatan serta panjang umur.
2. Mbak tersayang, Immawati/Imeldha. Beliaulah yang telah menjadi sumber kekuatan dan dukungan sejak awal penulis menapaki langkah di dunia perkuliahan. Di tengah keluarga yang sempat tak mendukung, beliau hadir dengan semangat yang tulus, tak kenal lelah memberikan dorongan dan motivasi hingga penulis dapat mencapai tahap ini. Meski beliau sendiri belum pernah merasakan bangku kuliah, namun tak sedikit pun ada rasa iri dalam hatinya. Sebaliknya, beliau senantiasa mendoakan agar penulis mampu meraih kesuksesan yang lebih besar dari apa yang telah beliau

capai. Kehangatan dan ketulusan beliau akan selalu menjadi inspirasi yang mendalam bagi penulis untuk terus maju dan berkarya.

3. Sahabat perjuanganku, Zumrotul Faizah, S.Si, Lini Arifha, S.Si, yang selalu kebersamaian serta membantu dalam kerumitan menyusun skripsi penulis. Terimakasih sudah menjadi sahabat yang baik yang selalu memberikan motivasi, arahan dan semangat disaat penulis tidak percaya akan dirinya sendiri dan sempat hilang arah sehingga saat ini penulis dapat menyelesaikan skripsi ini supaya dapat wisuda bersama-sama. Semoga Allah membalas kebaikan kalian.
4. Untuk sahabatku, Saidatul Jannah, S.H., Terima kasih telah hadir sejak langkah pertama, menjadi teman setia dalam tawa, air mata, dan segala cerita. Terima kasih telah mendampingi penulis dalam setiap bab kehidupan, tanpa lelah mendukung, tanpa pernah pergi di saat paling sulit. Persahabatanmu adalah hadiah yang tak ternilai, dan penulis akan selalu bersyukur untuk itu.
5. Teruntuk diri sendiri yang telah bertahan sampai detik ini, hari ini penulis ingin berkata terimakasih. Untuk hati yang tak pernah benar-benar menyerah, untuk langkah-langkah kecil yang terus dilanjutkan meski dikelilingi keraguan, untuk diri yang tetap bertahan meski dunia sering kali terasa tak berpihak. Terima kasih telah memilih untuk tetap melangkah, di saat semua terasa berat dan jalan terlihat kabur. Terima kasih telah bangkit berkali-kali, meski jatuh tanpa tempat bersandar. Terima kasih telah berani memperjuangkan pendidikan ini, walaupun banyak hal harus dilakukan dengan usaha sendiri, tanpa banyak dukungan.

Skripsi ini merupakan bukti nyata dari perjalanan yang penuh luka dan harapan, penuh keraguan dan keberanian, penuh kehilangan dan keteguhan. Inilah hadiah kecil untuk diri yang besar. Untuk semua malam yang dilalui dalam diam, untuk langkah-langkah yang tetap dijalani tanpa sorakan. Penulis bangga — dengan setulus-tulusnya — kepada diri sendiri. Atas semua yang telah dilewati, atas semua yang telah dimaafkan, dan atas semua yang masih terus diperjuangkan. Perjalanan ini belum selesai. Tapi hari ini, izinkan penulis berhenti sejenak, menatap ke belakang, lalu tersenyum, sembari berbisik perlahan: "Terima kasih, sudah sejauh ini. Terima kasih telah memilih untuk tidak menyerah. Penulis bangga padamu."

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis curahkan kehadiran Allah Swt. atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa selalu terlimpahkan kepada Nabi besar Nabi Muhammad saw. yang telah menuntun kita dari zaman kegelapan ke zaman terang benderang yakni Addinul Islam Wal Iman.

Penyusunan laporan yang berjudul **“Analisis Dampak Fenomena El-Nino Terhadap Parameter NDVI (*Normalized Differention Vegetation Index*) dan LST (*Land Surface Temperatur*) di Pulau Madura Dengan Menggunakan Citra Satelit Landsat-8”** ini, di susun dalam rangka menyelesaikan tugas akhir/skripsi yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata satu (S1) Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penulis menyadari keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki, karena itu tanpa keterlibatan dan sumbangsih dari berbagai pihak, sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu dengan segenap kerendahan hati patutlah penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainudin, M.A, Selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3. Dr. Imam Tazi, M.Si., Selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Rusli, M.Si Sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan serta pengetahuan, memotivasi penulis dan meluangkan waktu untuk membimbing dengan baik selama proses penyusunan Skripsi.
5. Drs. Cecep Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D_Sebagai dosen pembimbing pertama penulis yang telah banyak memberikan bimbingan serta pengetahuan terhadap penulis dalam proses penyusunan Skripsi.
6. Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si selaku pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam bidang integrasi sains dan Al-Quran.
7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu, pengetahuan, pengalaman, dan wawasannya, sebagai pedoman dan bekal bagi penulis.
8. Bapak, Ibuk, Mbak serta keluarga yang senantiasa memberikan doa, motivasi dan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh sahabat dan teman-teman fisika angkatan 2020, terutama di Bidang Minat Geofisika, yang telah bersedia berbagi ilmu dan informasi selama menimba ilmu di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang ini.
10. Semua pihak yang senantiasa memberikan bantuan, doa, dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan skripsi ini.

11. And don't forget, I would like to thank myself for processing, trying, and being able to complete this final assignment.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 26 Juni 2025

Penulis,

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
مستخلص البحث.....	xx
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 8
2.1 Pulau Madura	8
2.2 El-Nino	9
2.3 Normalized Differention Vegetation Index (NDVI).....	17
2.4 Land Surface Temperatur (LST)	21
2.5 Landsat-8.....	28
2.6 Penelitian Terdahulu	39
2.7 Kerangka Berfikir.....	42
 BAB III METODE PENELITIAN	 46
3.1 Waktu dan Tempat penelitian	46
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	46
3.2.1 Perangkat Lunak.....	46
3.2.2 Perangkat Keras.....	47
3.3 Data Penelitian	47
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	48
3.4.1 Tahapan Persiapan.....	48
3.4.2 Teknik Pengumpulan Data	49
3.4.3 Tahapan Pengolahan Data	50
3.4.4 Teknik Analisis.....	57
3.5 Diagram Alir Penelitian	60

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	61
4.1 Data Penelitian	61
4.2 Analisis Indeks Vegetasi (NDVI)	72
4.3 Analisis Land Surface Temperatur (LST)	83
4.4 Hubungan antara NDVI dan LST akibat dampak El-Nino	97
4.5 Perspektif Mitigasi Fenomena El-nino dalam Ajaran Islam	102
BAB V PENUTUP.....	107
5.1 Kesimpulan.....	107
5.2 Saran.....	108
DAFTAR PUSTAKA.....	109
LAMPIRAN.....	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Pulau Madura.....	8
Gambar 2. 2	Peristiwa El Ninoodan Kondisi Normal atau peristiwa La Nina...	13
Gambar 2. 3	Efek Rumah Kaca.....	30
Gambar 2. 4	Gelombang Elektromagnetik (Sumber: Sutanto, 1992)	32
Gambar 2. 5	Interaksi antara Energi Elektromagnetik (EM) dengan permukaan Bumi.	35
Gambar 2. 6	Menampilkan ilustrasi dari satelit Landsat-8.	37
Gambar 2. 7	Kerangka Berfikir	42
Gambar 3. 1	Lokasi Penelitian	46
Gambar 3. 2	Tahapan Pengolahan Data	50
Gambar 3. 3	Diagram Alir Penelitian.....	60
Gambar 4. 1	Citra Band 4 tahun 2021	65
Gambar 4. 2	Citra Band 5 tahun 2021	66
Gambar 4. 3	Citra Band 10 tahun 2021	67
Gambar 4. 4	Citra Band 4 tahun 2022.....	67
Gambar 4. 5	Citra Band 5 tahun 2022.....	68
Gambar 4. 6	Citra Band 10 tahun 2022.....	69
Gambar 4. 7	Citra Band 4 tahun 2023	70
Gambar 4. 8	Citra Band 5 tahun 2023.....	71
Gambar 4. 9	Citra Band 10 tahun 2023	72
Gambar 4. 10	Peta NDVI Pulau Madura bulan September Tahun 2021	74
Gambar 4. 11	Peta NDVI Pulau Madura bulan September tahun 2022.....	76
Gambar 4. 12	Peta NDVI Pulau Madura bulan September tahun 2023.....	78
Gambar 4. 13	Grafik perbandingan kerapatan NDVI tahun 2021,2022 dan 2023	81
Gambar 4. 14	Peta LST Pulau Madura bulan September tahun 2021	85
Gambar 4. 15	Peta LST Pulau Madura bulan September tahun 2022.....	88
Gambar 4. 16	Peta LST Pulau Madura bulan September tahun 2023.....	90
Gambar 4. 17	Grafik perbandingan Suhu Permukaan Tanah tahun 2021, 2022 dan 2023	95
Gambar 4. 18	Grafik hubungan antara NDVI dan LST	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Indikasi NDVI / Indeks Vegetasi (Manual Landsat,2016).....	20
Tabel 2. 2	Klasifikasi LST/ Land Surface Temperature (Sasky el al.,2017)	25
Tabel 2. 3	Band-band yang terdapat pada citra satelit Landsat-8 (Sumber: www.landsat.usgs.gov,2023)	38
Tabel 4. 1	Konstanta faktor pengali dari masing-masing band.....	62
Tabel 4. 2	Konstanta faktor penambah dari masing-masing band	62
Tabel 4. 3	Konstanta pada band 10	63
Tabel 4. 4	Nilai emisivitas.....	64
Tabel 4. 5	Nilai luasan NDVI bulan September tahun 2021	75
Tabel 4. 6	Nilai luasan NDVI bulan September tahun 2022.....	77
Tabel 4. 7	Nilai luasan NDVI bulan September tahun 2023	78
Tabel 4. 8	Estimasi NDVI	80
Tabel 4. 9	Nilai luasan LST bulan September tahun 2021	86
Tabel 4. 10	Nilai luasan LST bulan September tahun 2022.....	89
Tabel 4. 11	Nilai luasan LST bulan September tahun 2023.....	91
Tabel 4. 12	Estimasi LST	93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil observasi pada warna vegetasi tahun September 2023 diberbagai wilayah Pulau Madura	112
Lampiran 2. Data Penelitian	116

ABSTRAK

Hosraini, 2025. **Analisis Dampak Fenomena El-nino terhadap Parameter NDVI (Normalized Differention Vegetasion Index) dan LST (Land Surface Temperature) Di Pulau Madura Dengan Menggunakan Citra Satelit Landsat-8.** Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Rusli, M.Si (II) Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si

Kata Kunci: El-Nino, NDVI, LST, Pulau Madura, Kekeringan, Landsat-8

Pulau Madura merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang rentan terhadap dampak fenomena El Niño akibat kondisi geografisnya yang kering. El Niño menyebabkan perubahan iklim yang memperpanjang musim kemarau, mengurangi curah hujan, dan meningkatkan suhu di Madura, sehingga memicu kekeringan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak El Niño terhadap kekeringan di Pulau Madura dengan memanfaatkan data satelit Landsat-8, menggunakan dua parameter utama yaitu Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Land Surface Temperature (LST). Parameter NDVI digunakan untuk mengukur kerapatan dan kesehatan vegetasi, sementara LST berfungsi sebagai indikator suhu permukaan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa vegetasi di Pulau Madura mengalami penurunan kerapatan pada tahun 2023, yang menandakan peningkatan kekeringan dibandingkan dengan tahun 2021 dan 2022. LST pada bulan September 2023 menunjukkan peningkatan suhu signifikan, berkisar antara 26,18691°C hingga 42,191732°C, dibandingkan suhu yang relatif lebih rendah pada periode yang sama di tahun 2021 dan 2022. Pemetaan sebaran kekeringan menunjukkan bahwa puncak musim kering terjadi pada bulan September 2023. Analisis NDVI dan LST dari data Landsat-8 terbukti efektif untuk mendeteksi dampak El Niño terhadap kekeringan di Madura. Studi ini merekomendasikan pemantauan lanjutan terhadap perubahan parameter NDVI dan LST untuk strategi mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim di masa depan.

ABSTRACT

Hosraini, 2025. **An Analysis of the El-Nino Phenomenon Impact on NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and LST (Land Surface Temperature) Parameters on Madura Island by Using Landsat-8 Satellite Imagery.** Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Rusli, M.Si (II) Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si

Keywords: El-Nino, NDVI, LST, Madura Island, Drought, Landsat-8

Madura Island is one of the regions in Indonesia that is vulnerable to the impact of the El Niño phenomenon due to the dry geographical conditions. El Niño causes climate change that extends the dry season, reduces rainfall, and increases temperatures in Madura, thereby triggering drought. This research aims to analyze the impact of El Niño on drought on Madura Island by utilizing Landsat-8 satellite data, using two main parameters, namely Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST). NDVI parameter is used to measure vegetation density and health, while LST functions as an indicator of land surface temperature. The research results showed that vegetation on Madura Island will experience a decrease in density in 2023, which indicated an increase in drought compared to 2021 and 2022. LST in September 2023 showed a significant increase in temperature, ranging from 26.18°C to 42.19°C, compared to relatively lower temperatures in the same period in 2021 and 2022. Mapping of the distribution of drought showed that the peak of the dry season will occur in September 2023. NDVI and LST analysis from Landsat-8 data had proven effective for detecting the impact of El Niño on drought in Madura. The research recommends continued monitoring of changes in NDVI and LST parameters for mitigation and adaptation strategies to future climate change.

مستخلص البحث

حوسرايني. 2025. تحليل تأثير ظاهرة النينو *El-nino* على معلمات NDVI (مؤشر الاختلاف الطبيعي للغطاء النباتي) و LST (درجة حرارة سطح الأرض) في جزيرة مادورا باستخدام صور القمر الصناعي Landsat-8. بحث جامعي. قسم دراسة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) روسلي، الماجستير، (2) أحمد لطف، الماجستير المشرف: (1) روسلي، الماجستير، (2) أحمد لطف، الماجستير

الكلمات المفتاحية: El-Nino، NDVI، LST، جزيرة مادورا، جفاف، Landsat-8

جزيرة مادورا هي إحدى المناطق في إندونيسيا المعرضة لتأثير ظاهرة النينو El Niño بسبب ظروفها الجغرافية الجافة. تتسبب ظاهرة النينو El Niño في تغير المناخ الذي يؤدي إلى تمديد موسم الجفاف، ويقلل من هطول الأمطار، ويزيد من درجات الحرارة في مادورا، مما يؤدي إلى الجفاف. الهدف من هذا البحث لتحليل تأثير ظاهرة النينو El Niño على الجفاف في جزيرة مادورا من خلال استخدام صور القمر الصناعي Landsat-8، باستخدام معلمتين رئيسيتين، وهما مؤشر الاختلاف الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI) ودرجة حرارة سطح الأرض (LST). تُستخدم معلمات NDVI لقياس كثافة الغطاء النباتي وصحته، بينما يعمل LST كمؤشر لدرجة حرارة سطح الأرض. أظهرت نتائج البحث أن الغطاء النباتي في جزيرة مادورا سيشهد انخفاضاً في الكثافة في عام 2023، مما يشير إلى زيادة الجفاف مقارنة بالعامين 2021 و2022. يُظهر LST في سبتمبر 2023 ارتفاعاً ملحوظاً في درجات الحرارة، حيث تتراوح من 26.18691 درجة مئوية إلى 42.191732 درجة مئوية، مقارنة بدرجات حرارة أقل نسبياً في نفس الفترة من عامي 2021 و2022. يُظهر رسم خرائط توزيع الجفاف أن ذروة موسم الجفاف ستحدث في سبتمبر 2023. أثبت تحليل NDVI و LST من بيانات Landsat-8 فعاليته في الكشف عن تأثير ظاهرة النينو El Niño على الجفاف في مادورا. يوصي هذا البحث بمواصلة مراقبة التغيرات في معلمات NDVI و LST من أجل استراتيجيات التخفيف والتكيف مع تغير المناخ في المستقبل.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Madura merupakan salah satu pulau yang terletak di sebelah utara Pulau Jawa, Indonesia. Pulau ini memiliki keanekaragaman hayati dan sumber daya alam yang penting bagi kehidupan masyarakat setempat. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, fenomena alam seperti El Niño telah menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi iklim dan lingkungan di pulau ini. Dengan kondisi geografisnya yang kering dan sensitif terhadap perubahan iklim menjadikan Pulau Madura rentan terhadap perubahan cuaca yang disebabkan oleh fenomena El-Nino. Fenomena El-Nino yang terjadi di Pulau Madura menyebabkan meningkatnya bencana kekeringan. Kekeringan adalah fenomena alam klimatologi yang berupa berkurangnya jumlah curah hujan bulanan dibandingkan dengan rata-rata normal bulanannya (Syahrial,dkk, 2017).

Fenomena El-Nino, yang memengaruhi sirkulasi angin Muson di Indonesia, mengakibatkan perubahan durasi musim penghujan dan kemarau. Dampak El-Nino di Indonesia sering kali memicu kemarau panjang akibat pergeseran awal musim penghujan. Berdasarkan pengalaman beberapa dekade terakhir, penyimpangan iklim akibat El-Nino telah menyebabkan kekeringan berkepanjangan di sejumlah wilayah, termasuk di Pulau Madura. Fenomena El-Nino, yang memengaruhi sirkulasi angin Muson di Indonesia, mengakibatkan perubahan durasi musim penghujan dan kemarau. Dampak El-Nino di Indonesia sering kali memicu kemarau panjang akibat pergeseran awal musim penghujan. Berdasarkan pengalaman beberapa dekade terakhir, penyimpangan iklim akibat

El-Nino telah menyebabkan kekeringan berkepanjangan di sejumlah wilayah, termasuk di Pulau Madura. Terjadinya El Niño menyebabkan musim hujan datang terlambat dan memperpanjang durasi musim kemarau di Indonesia. Biasanya musim kemarau di Indonesia terjadi sekitar bulan Mei hingga Oktober, sedangkan musim hujan terjadi pada bulan November hingga April. Sebaliknya dampak La Niña yang melanda Indonesia menyebabkan musim hujan datang lebih awal dan musim kemarau lebih pendek. Dalam 25 tahun terakhir, dua El Niño kuat telah terjadi pada tahun 1997 dan 2015. Meskipun El Niño tahun 2015 memiliki indeks Niño 3.4 tertinggi pada periode tersebut (L'Heureux 2016). Beberapa El Niño moderat terjadi pada tahun 2002, 2006, dan 2009 (Burton et al. 2020). Peristiwa El Niño, yang ditandai dengan anomali pemanasan di wilayah timur Samudera Pasifik khatulistiwa, mempunyai hubungan jarak jauh iklim global dan merupakan ciri paling dominan dari variabilitas iklim siklik pada rentang waktu subdekade. Oleh karena itu, memahami perubahan frekuensi atau karakteristik peristiwa El Niño dalam perubahan iklim merupakan kepentingan ilmiah dan social ekonomi yang luas.

Indeks kekeringan yang menggambarkan variasi status penggunaan udara tanaman secara temporal dan spasial, mungkin cocok untuk pengukuran kekeringan. Karena data iklim, seperti curah hujan dan suhu udara, yang dikumpulkan oleh cuaca stasiun memiliki resolusi spasial yang buruk, data penginderaan jauh dari satelit menawarkan banyak keuntungan dan harus menjadi bagian integral dari pemantauan kekeringan, terutama untuk mendeteksi evolusi kekeringan secara temporal dan spasial. Rangkaian satelit Landsat telah digunakan untuk menghasilkan indeks vegetasi seperti indeks vegetasi perbedaan

ternormalisasi (NDVI) dan untuk mengukur suhu permukaan tanah (LST). NDVI tidak hanya memetakan keberadaan vegetasi dalam basis piksel, namun juga memberikan ukuran jumlah atau kondisi vegetasi dalam suatu piksel. LST merupakan indikator yang baik mengenai keseimbangan energi di permukaan bumi karena merupakan salah satu parameter kunci dalam proses fisika permukaan tanah pada skala regional dan global. Identifikasi perubahan suatu periode di tingkat regional merupakan salah satu syarat utama untuk menganalisis perubahan iklim. LST merupakan salah satu parameter lingkungan terpenting yang digunakan dalam menentukan pertukaran energi dan material antara permukaan bumi dan lapisan bawah atmosfer. Pemantauan terus menerus terhadap parameter besar ini kemungkinan besar akan menghasilkan informasi tentang dampak fenomena el nino.

Adapun peringatan yang telah Allah swt firmankan bahwasanya setiap manusia akan diberikan ujian, dalam Al-Quran surah Al-Baqarah ayat 155-157:

وَلَنَبْلُوَنَّكُمْ بِشَيْءٍ مِّنَ الْخَوْفِ وَالْجُوعِ وَنَقْصٍ مِّنَ الْأَمْوَالِ وَالْأَنْفُسِ وَالثَّمَرَاتِ وَبَشِّرِ الصَّابِرِينَ (١٥٥)
الَّذِينَ إِذَا أَصَابَتْهُمْ مُصِيبَةٌ قَالُوا إِنَّا لِلَّهِ وَإِنَّا إِلَيْهِ رَاجِعُونَ (١٥٦) أُولَٰئِكَ عَلَيْهِمْ صَلَوَاتٌ مِّن رَّبِّهِمْ
وَرَحْمَةٌ وَأُولَٰئِكَ هُمُ الْمُهْتَدُونَ (١٥٧)

Artinya:

“Dan kami pasti akan menguji kamu dengan sedikit ketakutan, kelaparan, kekurangan harta, jiwa, dan buah-buahan. Dan sampaikanlah kabar gembira kepada orang-orang yang sabar; (yaitu) orang-orang yang apabila ditimpa musibah, mereka berkata “innalillahi wa innalillahi rajiun” (sesungguhnya kami milik Allah dan kepada-Nyalah kami kembali); mereka itulah yang memperoleh ampunan dan rahmat dari tuhan mereka dan mereka itulah orang-orang yang mendapat petunjuk” (QS. Al-Baqarah: 155-157).

Menurut tafsir Syekh Nawawi Banten, 1316, pada kata (وَلَنَبْلُوَنَّكُمْ), menjelaskan makna bahwa dalam hal ini Allah swt bersumpah dengan Dzat-Nya sendiri. “Demi Allah, akan kami uji kalian seperti orang yang menguji tingkah kalian apakah kalian akan bersabar atas ujian yang ada dan menerima putusan *qadha* atau tidak”. Ujian tersebut tidak lain hanyalah (بَشْيٍ مِّنَ الْخَوْفِ وَالْجُوعِ وَنَقْصٍ) yakni dengan hanya sedikit dari ketakutan (karena musuh), kelaparan, kurangnya harta serta jiwa (dengan adanya kematian) dan kurangnya buah-buahan.

Menurut tafsir Ibnu Katsir, Tafsir Al-Qur’ani Azhim, Riyadh, Dar Thayyibah lin Nasyri wa Tauzi’ Pada kata الَّذِينَ إِذَا أَصَابَتْهُمْ مُصِيبَةٌ قَالُوا إِنَّا لِلَّهِ وَإِنَّا إِلَيْهِ رَاجِعُونَ dengan maksud ialah dengan ucapan tersebut mereka menerima ujian dari-Nya. Juga karena mereka mengetahui bahwa mereka milik Allah dan Allah bebas melakukan apa saja terhadap hamba-Nya. Allah tidak akan menyia-nyiakan barang seberat dzarrah pun di hari akhir. Hal tersebut menimbulkan pengakuan pada diri mereka bahwa mereka adalah hamba-Nya dan akan kembali pada-Nya di akhirat. Karenanya Allah mengabarkan apa yang akan diberikan kepada mereka dengan firman selanjutnya: (وَلَنُكَفِّرَنَّ عَنْهُمْ سَيِّئَاتِهِمْ وَلَنَجْزِيَنَّهُمْ أَجْرَهُم بِأَمْرٍ ذِكْرٍ وَلَنَنْصَرِفَنَّهُمْ فِرَاقًا شَدِيدًا لِّفِرَاقٍ وَلَنَجْزِيَنَّهُمْ أَجْرَهُم بِأَمْرٍ ذِكْرٍ وَلَنَنْصَرِفَنَّهُمْ فِرَاقًا شَدِيدًا لِّفِرَاقٍ) yakni mendapatkan pujian dan rahmat dari Allah.” (Ibnu Katsir, Tafsir Al-Qur’ani Azhim, [Riyadh, Dar Thayyibah lin Nasyri wa Tauzi’:1999 M/1420H], juz I, halaman 467).

Syekh Nawawi menjelaskan bahwa kabar gembira tersebut ditujukan kepada orang-orang yang, ketika menghadapi musibah, mengucapkan dengan lisan dan hati mereka kalimat "innâ lillâhi wa innâ ilaihi râji'ûn", yang bermakna bahwa mereka adalah hamba Allah dan akan kembali kepada-Nya setelah kematian. Adapun makna "mereka mendapat shalawat, rahmat, dan hidayah" adalah memperoleh ampunan, kelembutan, dan petunjuk dari Allah, karena mereka menyerahkan segala urusan kepada ketetapan-Nya. (Muhammad Nawawi Al-Jawi, At-Tafsirul Munir li Ma'alimit Tanzil, Juz I, halaman 37).

Dari kutipan surah di atas juga dapat diambil pembelajaran bahwa Allah akan menguji hambanya supaya hambanya selalu bersabar. Ujian seperti kekeringan dapat menjadi bagian dari ujian yang diberikan oleh Allah swt kepada manusia. Manusia diuji untuk bersabar, bertawakal, dan memperbaiki perilaku mereka. Oleh karena itu, dalam konteks fenomena El Niño, orang-orang yang terkena dampaknya diuji untuk tetap kuat, sabar, dan mengandalkan Allah dalam menghadapi cobaan tersebut dan akan mendapatkan ampunan serta rahmat dari Allah swt.

Menurut penelitian yang dilakukan Cherli Medika (2016), El-Nino dapat Fenomena ini menyebabkan anomali iklim yang berdampak pada penurunan curah hujan dan perpanjangan durasi musim kemarau, sehingga berkontribusi pada penurunan produksi singkong serta kenaikan harga komoditas tersebut. (Cherli Medika, 2016). Disisi lain, penelitian yang dilakukan oleh Sholikhuddin Afyan (2022), Fenomena El-Nino dapat mempengaruhi kapasitas produksi biota laut dalam tatanan rantai makanan yang telah ada. Akibat ketidakselarasan salah satu bagian dari tatanan akan mempengaruhi keselarasan system biogis. Didalam

bidang perikanan terjadinya tidak keselarasan ekosistem akan berdampak pada hasil perikanan, khususnya pada hasil tangkapan (Sholikhuddin Afyan,2022).

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah disampaikan, penelitian ini dirancang dan dilaksanakan untuk mengetahui dampak yang disebabkan elnino di pulau Madura berdasarkan parameter *Land Surface Temperatur* (LST) dan *Normalized Differention Vegetation Index* (NDVI) dengan menggunakan data citra satelit Landsat-8. Melalui analisis ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang mendalam mengenai pengaruh fenomena El-Nino terhadap kondisi lingkungan di Pulau Madura, sekaligus memberikan kontribusi berupa wawasan strategis dalam mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan lingkungan akibat fenomena ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Dampak elnino terhadap kekeringan di pulau Madura berdasarkan parameter *Normalized Differention Vegetation Index* dengan menggunakan data citra satelit landsat 8?
2. Bagaimana Dampak elnino terhadap kekeringan di pulau Madura berdasarkan parameter *Land Surface Temperatur* dengan menggunakan data citra satelit landsat 8?
3. Bagaimana hubungan NDVI dan LST akibat dampak el-nino di pulau Madura?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, tujuan dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui Dampak elnino terhadap kekeringan di pulau Madura berdasarkan parameter *Normalized Differentiation Vegetation Index* dengan menggunakan data citra satelit landsat 8
2. Untuk mengetahui Dampak elnino terhadap kekeringan di pulau Madura berdasarkan parameter *Land Surface Temperatur* dengan menggunakan data citra satelit landsat 8
3. Untuk Mengetahui hubungan NDVI dan LST akibat dampak el-nino di pulau Madura

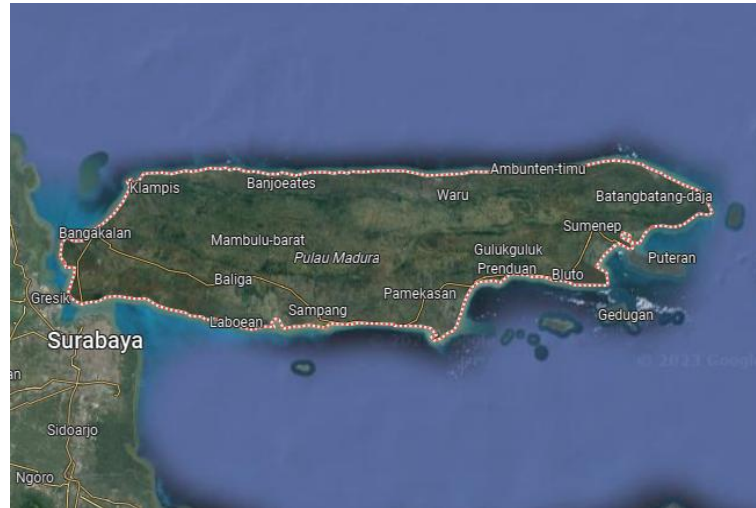
1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut: penelitian ini memiliki keunggulan dalam menyajikan informasi dan referensi bagi penelitian serupa di bidang teknik geoteknik, khususnya terkait keakuratan citra Landsat 8 OLI/TIRS dalam menganalisis dampak fenomena El-Nino menggunakan metode NDVI dan LST. Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi dalam memperluas wawasan mengenai konsep dan metode geografi, terutama dalam bidang penginderaan jauh

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pulau Madura



Gambar 2. 1 Pulau Madura

Pulau Madura terletak di sebelah timur Laut Jawa dengan koordinat geografis antara $112^{\circ} 40' 32''$ BT hingga $114^{\circ} 37' 17''$ BT dan $6^{\circ} 52' 42''$ LS. Pulau ini memiliki tipe iklim kering, dengan curah hujan tahunan yang berkisar antara 1.328 hingga 1.571 mm/thn, berdasarkan data dari BMKG (Haryani et al., 2006).

Luas total Pulau Madura mencapai sekitar 5.168 km², dengan panjang daratan sekitar 180 km dari ujung barat Kecamatan Kamal hingga ujung timur Kecamatan Kalianget, serta lebar sekitar 40 km. Secara administratif, Pulau Madura terbagi menjadi empat kabupaten, yaitu Kabupaten Bangkalan dengan luas 1.144,75 km², Kabupaten Sampang seluas 1.321,86 km², Kabupaten Pamekasan seluas 844,19 km², dan Kabupaten Sumenep dengan luas wilayah 1.857,53 km² (Sukandar et al., 2016).

2.2 El-Nino

Fenomena El-Nino merupakan salah satu fenomena iklim yang memberikan dampak besar terhadap perubahan iklim global. Dalam bahasa Spanyol, El-Nino berarti "Si Bungsu Kecil" atau "Anak Kristus" yang merujuk pada fenomena menghangatnya suhu air laut di Samudra Pasifik pada waktu yang tidak biasa, tepatnya sekitar bulan Desember yang bertepatan dengan perayaan Natal. Nama tersebut pertama kali digunakan oleh nelayan di lepas pantai Amerika Selatan pada abad ke-17 untuk menggambarkan peristiwa ini. Seiring berjalannya waktu, diketahui bahwa fenomena El-Nino disebabkan oleh melemahnya angin pasat yang biasanya berfungsi untuk mengalirkan udara secara sirkuler di kawasan Samudra Pasifik dalam kondisi normal. Melemahnya angin pasat ini menyebabkan pergerakan air laut yang lebih hangat dari bagian barat Pasifik, seperti wilayah Australia, Papua Nugini, dan Indonesia, berpindah ke arah timur. Dengan berkurangnya jumlah air hangat di wilayah barat Pasifik, proses penguapan (evaporasi) yang terjadi juga menurun. Penurunan proses penguapan ini menyebabkan atmosfer di wilayah tersebut menjadi miskin akan kandungan uap air, yang berdampak langsung pada berkurangnya curah hujan. Penurunan curah hujan ini kemudian memicu terjadinya kekeringan atau kemarau. Semakin kuat dan luas perpindahan massa air laut ke arah timur, maka semakin panjang pula durasi musim kemarau yang terjadi di kawasan tersebut, yang tentu saja mengarah pada dampak yang lebih besar terhadap pola cuaca dan iklim setempat, serta berpotensi mengganggu sektor pertanian dan ketahanan pangan di daerah yang terdampak (Pustekkom, 2007).

El-Nino dapat diartikan sebagai fenomena alam yang ditandai dengan adanya peningkatan suhu permukaan laut yang signifikan dibandingkan dengan kondisi normal di wilayah Samudra Pasifik ekuatorial. Fenomena ini sering kali dikaitkan dengan perubahan pola iklim global yang memengaruhi berbagai wilayah di dunia. Menurut Philander, El-Nino merupakan fenomena yang terjadi dalam siklus reguler dengan skala global, yang biasanya muncul setiap 3 hingga 8 tahun. Kejadian ini berkorelasi erat dengan perubahan nilai indeks osilasi selatan, yang digunakan sebagai indikator untuk mengukur intensitas fenomena tersebut. Sementara itu, Yoshino menjelaskan bahwa El-Nino termasuk salah satu dampak perubahan iklim yang berdampak besar terhadap wilayah tropis, termasuk Indonesia. Fenomena ini diketahui menyebabkan perpanjangan musim kemarau akibat berkurangnya curah hujan secara signifikan, yaitu hingga mencapai penurunan sebesar 93% dari kondisi normal (Yoshino et al., 2000). Kondisi kekeringan yang berkepanjangan ini tidak hanya mengganggu keseimbangan ekosistem, tetapi juga berdampak pada sektor pertanian, terutama terhadap produksi tanaman pangan yang mengalami penurunan drastis (Yokoyama, 2002; Irawan, 2003). Fenomena ini menunjukkan keterkaitan erat antara perubahan iklim global dan kerentanannya terhadap sistem sosial-ekonomi di wilayah terdampak, khususnya dalam hal ketahanan pangan.

Didalam Al-Quran, Allah telah memperingatkan dan Menjelaskan secara rinci berbagai hal yang berkaitan dengan fenomena alam, termasuk salah satu di antaranya adalah fenomena El-Nino. Di era modern ini, berbagai fenomena alam yang telah disebutkan dalam Al-Qur'an mulai terbukti secara ilmiah, menunjukkan kesesuaian antara wahyu Ilahi dengan ilmu pengetahuan. Al-Qur'an, sebagai kitab

suci, secara umum telah menjelaskan tentang berbagai peristiwa alam, termasuk fenomena kemarau panjang, yang kini dapat dianalisis dari perspektif ilmiah untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam. Allah Swt. dalam Al-Qur'an menegaskan adanya peristiwa kemarau panjang sebagai bagian dari tanda-tanda kekuasaan-Nya dalam perspektif Al-Quran.

Allah berfirman dalam Al-Quran:

وَلَقَدْ أَخَذْنَا آلَ فِرْعَوْنَ بِالسِّنِينَ وَنَقْصٍ مِّنَ الثَّمَرَاتِ لَعَلَّهُمْ يَذْكُرُونَ

Artinya:

“Dan sungguh, Kami telah menghukum Fir’aun dan kaumnya dengan (mendatangkan musim kemarau) bertahun-tahun dan kekurangan buah-buahan, agar mereka mengambil pelajaran.” (Q.S Al-A'raf: 130)

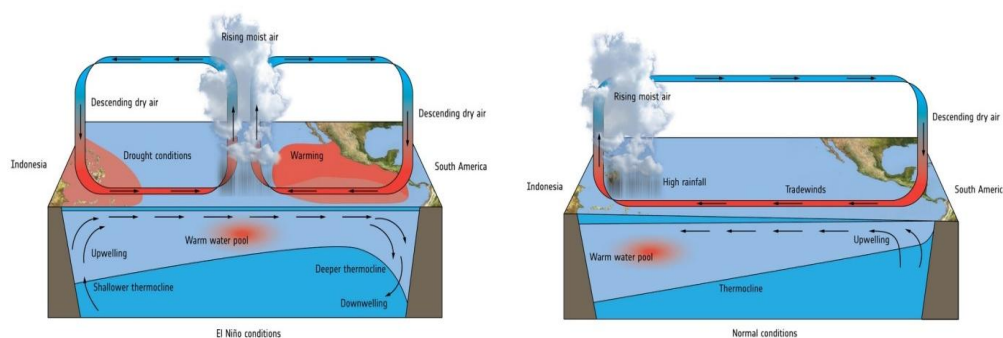
Menurut tafsir Al-Misbah dijelaskan tentang ayat ini yaitu Setelah Nabi Mûsâ a.s. Menyampaikan nasehatnya di atas, ayat berikut menguraikan keadaan Firaun dan kaumnya yang tidak terlepas dari peringatan Allah, yakni padahal demi keagungan Kami, sesungguhnya Kami telah menghukum Firaun dan kaum Firaun dengan masa-masa pengeklik yakni jangka waktu yang panjang. terjadinya bencana kelaparan dan kekurangan yang sangat menonjol mengenai buah-buahan, baik karena kemarau berkepanjangan maupun karena serangan hama tanaman, supaya mereka mengambil pelajaran walaupun hanya sedikit sebagaimana dipahami dari tidak dinampakkan huruf ta pada kata (يَذْكُرُونَ) yang pada mulanya adalah (يَتَذَكَّرُونَ). Kata (أَخَذْنَا) terambil dari kata (أَخَذَ) yang secara harfiah berarti mengambil. Jika Anda mengambil sesuatu, maka Anda telah menguasainya, sehingga Anda dapat melakukan apa saja terhadapnya. Dari sini, kata tersebut dapat bermakna menguasai atau mengalahkan seperti dalam firman Allah melukiskan diri-Nya pada ayat al-Kursi (لَا تَأْخُذُهُ سِنَةٌ) Dia tidak dikalahkan oleh

kantuk dan dapat juga bermakna menimpakan siksa seperti pada ayat yang ditafsirkan ini. Kata (السنين) adalah bentuk jamak dari kata (سنة), yaitu tahun. Biasanya peristiwa penting menjadi nama bagi masa tertentu atau tahun tertentu. Misalnya peristiwa penyerangan tentara bergajah untuk meruntuhkan Ka'bah dinamai tahun Gajah dan lain-lain. Selanjutnya karena peristiwa-peristiwa baik lagi menyenangkan seringkali jauh lebih banyak dari peristiwa buruk, maka kata sanah dan sinin yang secara harfiah berarti tahun/tahun-tahun dipahami dalam arti tahun-tahun sulit atau paceklik. Namun demikian, perlu dicatat bahwa masa-masa tersebut tidak harus dalam arti setahun atau bertahun-tahun, karena makna semantik kata itu telah beralih dari makna tahun yang terdiri dari duabelas bulan ke makna masa paceklik. Agaknya ayat ini tidak menyebut nama Fir'aun secara tegas sebagai salah seorang yang terkena hukuman, karena hukuman di atas lebih banyak dirasakan oleh masyarakat dan pendukungnya, disebabkan karena selama ini mereka telah terbiasa dengan melimpahnya rezeki, tetapi tiba-tiba berkurang. Adapun Fir'aun, maka dia tidak merasakan hal tersebut secara langsung karena buat penguasa selalu tersedia aneka makanan walaupun pada masa paceklik. Kendati demikian, Fir'aun tentu dapat mengetahui dampak buruk terhadap kekuasaannya akibat masa paceklik itu.

Dalam Ayat Al-Quran tersebut menggambarkan bagaimana Allah menyatakan hukuman-Nya kepada Fir'aun dan kaumnya melalui fenomena musim kemarau yang panjang dan kekurangan buah-buahan. Fenomena alam seperti El Niño, yang seringkali menjadi penyebab dari musim kemarau yang parah di beberapa wilayah, bisa dianggap sebagai peringatan bagi manusia untuk merenungkan kebesaran Allah dan kepentingan menjaga keseimbangan alam.

Ketika fenomena El-Nino terjadi, suhu permukaan laut di wilayah Tropis Pasifik meningkat secara signifikan, yang menyebabkan perubahan besar dalam pola cuaca global. Dampaknya bisa dirasakan dalam bentuk musim kemarau yang ekstrem, kekurangan air, kebakaran hutan, dan kekurangan sumber daya alam. Dalam konteks ini, ayat Al-Quran menjadi relevan karena mengingatkan pada manusia akan pentingnya belajar dari pengalaman Fir'aun dan kaumnya yang mengabaikan tanda-tanda kebesaran Allah dan mengalami hukuman sebagai konsekuensinya. Melalui fenomena El Niño, setiap manusia diharapkan untuk merenungkan betapa pentingnya menjaga lingkungan dan memperlakukan alam dengan penuh tanggung jawab. Dari fenomena El-Nino mengandung pelajaran bahwa kelalaian terhadap kelestarian alam dapat berujung pada bencana dan kesulitan yang melanda manusia. Oleh karena itu, dalam menjalani kehidupan ini, setiap manusia diharapkan untuk selalu mengambil pelajaran dari setiap tanda kebesaran Allah yang termanifestasikan dalam berbagai fenomena alam, termasuk El Niño, dan mengambil langkah-langkah yang bijak untuk menjaga keberlangsungan alam semesta yang telah diciptakan-Nya.

Berikut gambar dari fenomena El-nino dan kondisi normal atau bisa disebut juga La-nina.



Gambar 2. 2 Peristiwa El Ninoodan Kondisi Normal atau peristiwa La Nina

Fenomena El-Nino memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap berbagai aspek kehidupan di Indonesia. Dampak yang ditimbulkan meliputi kekeringan yang berkepanjangan, kelangkaan air bersih, kerugian di sektor pertanian akibat gagal panen, serta meningkatnya kejadian kebakaran hutan dan lahan. Mengutip informasi dari laman resmi pemerintah kota Surakarta, El-Nino juga dapat menyebabkan anomali cuaca yang ekstrem, seperti banjir besar dan badai hebat di beberapa wilayah. Fenomena ini dapat memicu kondisi paradoks, di mana daerah yang biasanya basah mengalami kekeringan, sementara wilayah yang cenderung kering justru mengalami banjir. Dari sisi pertanian, perubahan pola curah hujan dan suhu yang tidak menentu akibat El-Nino sering kali berdampak pada penurunan hasil panen, yang pada akhirnya memicu kelangkaan pangan. Kondisi tersebut tidak hanya berdampak pada ketahanan pangan lokal, tetapi juga memiliki implikasi serius terhadap ketahanan pangan secara global, mengingat Indonesia merupakan salah satu negara dengan sektor agraris yang menjadi penopang kebutuhan pangan domestik maupun dunia.

Setiap fenomena El-Nino maupun La-Nina memiliki karakteristik yang unik dan tidak selalu serupa dalam dampaknya. Namun, para peneliti telah mengidentifikasi pola khas yang dihasilkan oleh kedua fenomena tersebut, salah satunya adalah perubahan temperatur global. Selama periode El-Nino, suhu global cenderung meningkat sekitar 0,2 derajat Celcius, sedangkan selama La-Nina, suhu global mengalami penurunan dengan besaran yang sama, yaitu sekitar 0,2 derajat Celcius. Fenomena ini terjadi karena El-Nino menyebabkan penyebaran air laut hangat yang lebih luas dan lebih dekat ke permukaan laut, sehingga lebih banyak panas dilepaskan ke atmosfer. Proses ini menghasilkan udara yang lebih lembap

dan hangat, yang kemudian berkontribusi pada perubahan pola cuaca dan iklim secara global.

Proses terjadinya fenomena El-Nino diawali dengan pergerakan massa air laut hangat dari perairan Indonesia yang bergerak ke arah timur sepanjang garis ekuator hingga mencapai pantai barat Amerika Selatan, tepatnya di wilayah Peru dan Bolivia. Pada saat yang bersamaan, massa air laut hangat dari kawasan pantai Amerika Tengah juga bergerak ke arah selatan, menuju wilayah pantai barat Peru dan Ekuador. Pertemuan antara massa air laut hangat dari Indonesia dengan massa air laut hangat dari Amerika Tengah di wilayah pantai barat Peru dan Ekuador ini mengakibatkan akumulasi besar-besaran air laut panas yang menempati area yang luas di Samudra Pasifik. Panas dari permukaan air laut tersebut kemudian ditransfer ke lapisan udara di atasnya, menyebabkan udara di wilayah tersebut mengalami konveksi atau pemuain ke atas. Proses ini menciptakan area bertekanan rendah di kawasan pantai barat Peru dan Ekuador. Kondisi ini mengganggu pola sirkulasi angin pasat yang normal, sehingga angin yang menuju wilayah Indonesia membawa uap air dalam jumlah yang sangat sedikit. Akibatnya, Indonesia mengalami penurunan curah hujan yang signifikan, yang memicu musim kemarau panjang (Sani & Safitri, 2015).

Secara umum, fenomena El-Nino berdampak pada penurunan suhu permukaan air laut di sekitar wilayah Indonesia. Penurunan suhu ini mengakibatkan berkurangnya proses pembentukan awan, yang selanjutnya menyebabkan penurunan curah hujan di berbagai daerah. Dampak ini berpotensi menimbulkan kekeringan di banyak wilayah di Indonesia, terutama di Pulau

Madura. Adapun dampak akibat berlangsungnya El Nino meliputi berbagai hal yaitu:

A. Dampak El-Nino terhadap Iklim Global

1. Melemahnya Angin Pasat Timur

Fenomena El-Nino menyebabkan penurunan intensitas angin pasat timuran, yang berdampak pada gangguan pola sirkulasi udara di kawasan tropis.

2. Melemahnya Sirkulasi Monsoon

El-Nino juga memengaruhi sistem sirkulasi Monsoon, yang berakibat pada perubahan signifikan dalam distribusi curah hujan di wilayah tropis.

3. Penurunan Curah Hujan di Beberapa Kawasan

Fenomena ini menyebabkan berkurangnya akumulasi curah hujan di wilayah seperti Indonesia, Amerika Tengah, dan bagian utara Amerika Selatan. Wilayah-wilayah ini cenderung mengalami cuaca yang lebih dingin dan kering selama El-Nino.

4. Peningkatan Curah Hujan di Kawasan Lain

Sebaliknya, kawasan di sekitar Pasifik Ekuatorial Tengah dan Barat, termasuk wilayah Argentina, berpotensi menerima curah hujan yang lebih tinggi. Cuaca di daerah ini cenderung menjadi lebih hangat dan lembap selama El-Nino berlangsung.

B. Dampak El-Nino terhadap Iklim di Indonesia

1. Kemarau Panjang dan Kebakaran Hutan

El-Nino memicu musim kemarau yang lebih panjang di Indonesia. Dampaknya meluas hingga menyebabkan kebakaran hutan yang parah,

menghasilkan kabut asap yang memperburuk situasi lingkungan akibat penurunan curah hujan.

2. Krisis di Wilayah Tata Air

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian daerah aliran sungai (DAS) di Indonesia berada dalam kondisi yang semakin kritis. Fenomena ini mengakibatkan fluktuasi debit air, baik minimum maupun maksimum, yang memicu kekeringan hidrologis di beberapa wilayah.

3. Penurunan Suhu Permukaan Air Laut

El-Nino menyebabkan penurunan suhu permukaan air laut di sekitar Indonesia, yang berdampak pada berkurangnya pembentukan awan. Hal ini mengakibatkan penurunan curah hujan yang signifikan, sehingga memicu kekeringan di berbagai wilayah di Indonesia.

4. Pengaruh La-Nina Sebagai Kebalikan El-Nino

Sebagai lawan dari El-Nino, La-Nina cenderung meningkatkan curah hujan akibat suhu yang lebih hangat dan kelembapan yang lebih tinggi. Hal ini membuat musim kemarau di Indonesia menjadi lebih basah, dengan peningkatan curah hujan yang signifikan.

2.3 Normalized Differentiation Vegetation Index (NDVI)

Indeks Vegetasi adalah suatu jenis transformasi spektral yang diterapkan pada citra multispektral, bertujuan untuk menonjolkan aspek-aspek yang berhubungan dengan kerapatan vegetasi, termasuk di antaranya biomassa, Leaf Area Index (LAI), konsentrasi klorofil, dan berbagai parameter lain yang relevan dengan keberadaan serta kondisi vegetasi (Danoedoro, 2012:246). Adapun secara praktisnya, indeks vegetasi merupakan hasil dari sebuah transformasi matematis

yang melibatkan kombinasi beberapa saluran spektral secara bersamaan, yang kemudian menghasilkan citra baru yang lebih representatif dalam menggambarkan fenomena terkait vegetasi, seperti pertumbuhan, kondisi kesehatan, dan distribusi vegetasi di suatu wilayah.

Transformasi indeks vegetasi ini dapat dikelompokkan ke dalam empat kategori besar, yaitu: (a) indeks vegetasi dasar atau generik yang digunakan untuk analisis umum, (b) indeks vegetasi yang dirancang untuk meminimalkan pengaruh latar belakang tanah, (c) indeks vegetasi yang bertujuan untuk mengurangi pengaruh atmosfer terhadap hasil pengamatan, dan (d) berbagai jenis indeks vegetasi lainnya yang lebih spesifik atau disesuaikan dengan kondisi tertentu (Danoedoro, 2012:246). Salah satu contoh paling umum dari indeks vegetasi dasar adalah Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), yang banyak digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengukur atau memantau kesehatan serta kerapatan vegetasi dengan cara membandingkan nilai reflektansi dari dua saluran spektral yang berbeda.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) adalah suatu kombinasi dari teknik pensisihan dan pengurangan citra, yang menghasilkan indeks yang sederhana namun sangat efektif dalam mendeteksi perubahan tutupan vegetasi. Indeks ini memiliki rentang nilai yang dinamis dan sensitif, menjadikannya salah satu metode yang paling efektif dalam memantau perubahan vegetasi. Proses transformasi ini menggunakan dua saluran spektral, yaitu saluran merah dan inframerah dekat. Pemilihan kedua saluran ini didasarkan pada perbedaan kepekaan masing-masing terhadap vegetasi. Pigmen klorofil a dan b yang terdapat dalam tanaman, yang berperan penting dalam proses fotosintesis, memiliki

kemampuan menyerap cahaya pada panjang gelombang biru dan merah. Secara khusus, klorofil a menyerap cahaya pada panjang gelombang sekitar 0,43 hingga 0,66 μm , sementara klorofil b menyerap pada panjang gelombang sekitar 0,45 hingga 0,65 μm (Jensen, 2005 dalam Dian, 2010).

Pada hal ini menjelaskan mengapa pada saluran merah, nilai reflektansi dari vegetasi sangat rendah. Hal ini karena pigmen klorofil di dalam tanaman menyerap sebagian besar cahaya merah, yang menyebabkan pantulan cahaya pada saluran ini menjadi minimal. Sebaliknya, pada saluran inframerah dekat, nilai pantulan dari vegetasi sehat justru meningkat tajam. Pada rentang panjang gelombang inframerah dekat (0,7 – 1,2 μm), sebagian besar energi matahari yang diterima oleh tanaman dipantulkan kembali. Jika tanaman menyerap sebagian besar energi dalam panjang gelombang tampak, tanaman tersebut akan menjadi terlalu panas, dan menyebabkan kerusakan pada protein yang terdapat dalam sel-selnya. Namun, pada panjang gelombang inframerah dekat ini, terjadi pantulan cahaya yang tinggi (sekitar 40% hingga 60%), transmisi yang cukup tinggi (40% hingga 60%), serta penyerapan yang relatif rendah (sekitar 5% hingga 10%). Rouse et al. (1974) dalam Dian (2010) mengembangkan rumus atau formula untuk menghitung kerapatan vegetasi berdasarkan perbedaan pantulan cahaya pada saluran merah dan inframerah, yang selanjutnya digunakan dalam penghitungan indeks vegetasi seperti NDVI.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (2.1)$$

NIR = Nilai digital citra saluran inframerah dekat

Red = Nilai digital citra saluran merah

Hasil pengolahan data kerapatan vegetasi dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kelas, sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam manual landsat, 2016 yang dijelaskan dalam tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2. 1 Indikasi NDVI / Indeks Vegetasi (Manual Landsat,2016)

NDVI	Keterangan
< 0,1196	Tidak Bervegetasi
0,1196 - 0,2851	Vegetasi rendah
0,2851 – 0,4506	Vegetasi sedang
0,4506 – 0,6161	Vegetasi tinggi

Hasil perhitungan dari formula indeks vegetasi ini menghasilkan nilai yang berkisar antara -1 hingga +1. Nilai -1 menunjukkan bahwa pada saluran merah terjadi pantulan maksimum, sedangkan pada saluran inframerah dekat (NIR) terjadi pantulan minimum, yang mengindikasikan kondisi daerah yang tidak memiliki vegetasi. Sebaliknya, nilai +1 menunjukkan bahwa pada saluran inframerah dekat terjadi pantulan maksimum dan pada saluran merah terjadi pantulan minimum, yang menandakan adanya daerah dengan vegetasi yang memiliki kerapatan tinggi. Dengan menggunakan perbandingan sifat respons objek terhadap pantulan sinar merah dan NIR, perhitungan ini menghasilkan nilai yang memiliki karakteristik khas, yang dapat digunakan untuk memperkirakan kerapatan atau kondisi kanopi tanaman, serta tingkat kehijauan vegetasi. Tanaman yang sehat, terutama yang berwarna hijau, akan memiliki nilai indeks vegetasi

yang tinggi, hal ini disebabkan oleh hubungan terbalik antara intensitas sinar yang dipantulkan oleh vegetasi pada spectral sinar merah dan NIR.

2.4 Land Surface Temperatur (LST)

Menurut Becker dan Li (1990) dalam Utomo et al. (2017), suhu permukaan tanah (LST) merupakan kondisi yang dipengaruhi oleh keseimbangan energi permukaan, atmosfer, serta sifat termal dari permukaan dan media bawah permukaan tanah. LST sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berperan dalam interaksi antara permukaan tanah dengan atmosfer. Selain itu, menurut Rajeshwari dan Mani (2014) yang dikutip dalam Guntara (2016), LST merupakan fenomena yang memiliki peran penting dalam perubahan iklim global. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kandungan gas rumah kaca di atmosfer yang secara langsung menyebabkan peningkatan suhu permukaan tanah (LST). Fenomena ini semakin relevan dalam konteks perubahan iklim yang terjadi di berbagai belahan dunia. Lebih lanjut, Faridah dan Krisbiantoro (2014) dalam Guntara (2016) menjelaskan bahwa LST dapat diartikan sebagai suhu rata-rata pada permukaan tertentu yang digambarkan dalam cakupan suatu piksel, yang mengandung berbagai jenis permukaan dengan karakteristik yang berbeda. LST berfungsi sebagai indikator penting dalam mengamati dan menganalisis perubahan suhu permukaan yang dapat berdampak pada berbagai aspek lingkungan, termasuk perubahan iklim dan ekosistem.

Menurut Lillesand & Kiefer yang dikutip dalam Nur Atikah Suri, Land Surface Temperature (LST) dapat didefinisikan sebagai suhu rata-rata pada permukaan yang digambarkan dalam satuan piksel yang mencakup berbagai jenis permukaan dengan karakteristik yang berbeda. Suhu permukaan ini dipengaruhi

oleh panjang gelombang, dimana panjang gelombang yang paling sensitif terhadap suhu permukaan adalah inframerah termal. Oleh karena itu, band termal yang terdapat pada sensor satelit berfungsi untuk mengukur suhu permukaan objek yang ada di bumi. Dalam pengamatan suhu permukaan tanah, penggunaan teknologi penginderaan jauh sangat penting, salah satunya dengan memanfaatkan citra satelit yang dilengkapi dengan sensor termal, seperti yang dimiliki oleh satelit Landsat-5 dan Landsat-8. Seperti yang dijelaskan oleh Darlina (2018), suhu permukaan tanah merujuk pada suhu yang tercatat pada lapisan terluar dari permukaan benda-benda yang ada di daratan bumi. Untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai suhu permukaan tanah, kita dapat memanfaatkan data citra satelit yang diperoleh dari sensor termal. Namun, data yang diperoleh dari citra satelit berupa Digital Number (DN), sehingga diperlukan serangkaian tahap konversi untuk mengubah nilai tersebut menjadi suhu permukaan tanah yang sebenarnya. Proses konversi ini penting untuk memastikan bahwa nilai suhu yang diperoleh dari citra satelit mencerminkan kondisi suhu permukaan yang realistis dan akurat, sebagaimana yang dijelaskan oleh Mukmin (2016).

Algoritma LST AVHRR/NOAA dikembangkan oleh Rustana menggunakan metode split-window saluran inframerah termal 4 dan 5 yang divalidasi menggunakan pengukuran tanah LST Australia. Algoritma ini akan diterapkan pada inframerah termal MODIS pada saluran 31 dan 32 data untuk menentukan LST (Rustana, 2021).

Berbeda dengan penelitian ini yang menggunakan satelit Landsat-8, dimana penggunaan saluran citranya hanya menggunakan band-10 untuk mengukur LST. Suhu permukaan tanah dapat diperoleh melalui proses

pengolahan citra satelit yang melibatkan beberapa tahap konversi data. Berdasarkan petunjuk teknis yang terdapat pada manual Landsat-8 (2016), salah satu tahap pertama dalam proses ini adalah mengonversi nilai Digital Number (DN) yang diperoleh dari band termal Landsat-8, khususnya band 10, menjadi radian spektral (L_λ). Dengan menggunakan persamaan seperti berikut :

$$L_\lambda = Q_{Cal} M_L + A_L \quad (2.2)$$

Dimana:

L_λ = Spectral radiance (Watts/($m^2 \times \text{srad} \times \mu\text{m}$))

M_L = Faktor pengali pada band spesifik (pada metadata band 10)

A_L = Faktor penambah pada band spesifik (pada metadata band 10)

Q_{Cal} = *Quantize Cal* atau *Digital Number (DN)*

Selanjutnya adalah langkah mengubah nilai *radiasi spektral* (L_λ) ke *Brightness temperature* (T_B) gunakan persamaan berikut (USGS, 2015):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_2}{L_\lambda} + 1\right)} - 273 \quad (2.3)$$

Dimana:

T_B = Suhu Kecerahan ($^{\circ}\text{C}$)

L_λ = Spectral radiance (Watts/($m^2 \times \text{srad} \times \mu\text{m}$))

K_1 = Konstanta kalibrasi pada band termal (pada *band 10*)

K_2 = Konstanta kalibrasi pada band termal (pada *band 10*)

Selanjutnya untuk mendapatkan *LST* terlebih dulu dicari *Proposi Vegetasi* dan *emisivitas* dengan rumus (Landsat-8 Manual, 2016):

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (2.4)$$

$$\varepsilon = 0.004 * PV + 0.986 \quad (2.5)$$

PV = Proposi Vegetasi

ε = emisivitas

Untuk rumus LST yang diperoleh dari persamaan berikut (*Landsat-8 Manual*, 2016):

$$LST = \frac{T_B}{\left\{1 + \left[\left(\frac{\lambda T_B}{C_2}\right)(\ln \varepsilon_\lambda)\right]\right\}} \quad (2.6)$$

Dimana:

LST = Suhu Permukaan Tanah ($^{\circ}C$)

λ = panjang gelombang yang dipancarkan (μm) *band* 10

$C_2 = 14388 \mu m K$

Untuk atmosfer non-hamburan dan bebas awan di bawah kesetimbangan termodinamika lokal, dan permukaan tanah yang dianggap sebagai reflektor Lambertian, persamaan perpindahan radiasi untuk pancaran sinar inframerah termal keluar I_i , yang diterima oleh saluran i dari sensor satelit dapat dinyatakan sebagai:

$$I_i(\theta) = \varepsilon_i(\theta)B_i(T_s)\tau_i(\theta) + \int_0^P B_i(T_p) \frac{\partial \tau_i(\theta, p)}{\partial p} dp + [1 - \varepsilon_i(\theta)]\tau_i(\theta)L_i \quad (2.7)$$

Dimana $\rho_i(\theta) = [1 - \varepsilon_i(\theta)]$ adalah reflektivitas hemisferis, ε_i adalah emisivitas permukaan, θ adalah sudut puncak, L_i adalah pancaran atmosfer hemisferis pada panjang gelombang i , B_i adalah fungsi Planck, T_s dan T_p masing-masing adalah suhu permukaan dan suhu atmosfer pada tingkat tekanan p . τ_i adalah transmitansi atmosferik, dan $\partial \tau / \partial p$ didefinisikan sebagai fungsi pembobotan,

Persamaan (2.7) dapat ditulis ulang dalam bentuk sederhana berikut:

$$I_i = \tau_i[\varepsilon_i B_i(T_s) + (1 - \varepsilon_i)L_i] + \int_p^0 B_i(T_p) \frac{\partial \tau_i(p)}{\partial p} dp \quad (2.8)$$

Untuk mengubah persamaan (2.8) menjadi bentuk yang lebih tepat, kita menerapkan teorema nilai rata-rata pada lapisan atmosfer antara tingkat tekanan p dan puncak atmosfer, sehingga menghasilkan:

$$\int_p^0 B_i(T_p) \frac{\partial \tau_i(p)}{\partial p} dp = (1-\tau_i)\bar{B}_i \quad (2.9)$$

$\bar{B}_i$ adalah pancaran Planck yang dirata-ratakan pada fungsi transmisi. Menulis ulang (2.8) menggunakan (2.9), maka memperoleh:

$$I_i = \tau_i[\varepsilon_i B_i(T_s) + (1 - \varepsilon_i)L_i] + (1-\tau_i)\bar{B}_i \quad (2.10)$$

dimana sekarang ε_i adalah rata-rata pita emisivitas untuk saluran i , τ_i adalah rata-rata pita transmisi untuk saluran i , L_i adalah komponen down-welling dari fluks cahaya langit, $B_i(T_s)$ adalah radiasi permukaan Planck, T_s adalah suhu permukaan dan B_i adalah cahaya yang dipancarkan oleh atmosfer (Rustana, C. 2019).

Tabel 2. 2 Klasifikasi LST/ Land Surface Temperature (Sasky el al.,2017)

LST (celsius)	Klasifikasi LST
<15.649	Sangat Rendah
15.649 s/d 20.437	Rendah
20.437 s/d 31.001	Sedang
31.001 s/d >49	Tinggi
=> 50	Sangat Tinggi

Adapun hubungan LST dan NDVI terhadap Elnino sebagai berikut:

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk menghitung dan menentukan nilai indeks vegetasi di suatu wilayah. Nilai NDVI yang rendah menunjukkan bahwa

wilayah tersebut memiliki tingkat kerawanan terhadap kekeringan yang lebih tinggi. Sebaliknya, semakin tinggi nilai NDVI, semakin rendah tingkat kerawanan terhadap kekeringan di daerah tersebut. Hal ini menjadikan NDVI sebagai indikator penting dalam memetakan potensi kerawanan kekeringan berdasarkan tingkat kerapatan vegetasi. Indeks vegetasi perbedaannya ternormalisasi (NDVI) dan LST digunakan untuk mengklasifikasikan kejadian kekeringan yang terkait dengan fase El Niño–Southern Oscillation (ENSO) di masa lalu. Ditemukan bahwa kejadian kekeringan paling parah umumnya terjadi pada fase ENSO positif (tahun El Niño). Selain itu, kami menemukan bahwa penurunan vegetasi terutama disebabkan oleh rendahnya curah hujan dan suhu tinggi, dan peneliti mengidentifikasi daerah-daerah di mana kerugian pertanian akan paling parah terjadi dalam kondisi seperti itu. Hasilnya kering sehingga kekeringan dapat menggunakan data citra satelit ketika data di lapangan langka atau kualitas datanya buruk. Hasilnya akan sangat bermanfaat bagi operasi tanggap darurat dan memungkinkan pendekatan proaktif terhadap manajemen risiko bencana kekeringan.

Tingkat kekeringan yang dievaluasi berdasarkan skema klasifikasi kekeringan menggunakan NDVI dan LST; klasifikasi ini terkait dengan anomali ENSO. Terakhir, hubungan antara distribusi spasial NDVI dengan curah hujan dan suhu udara diperiksa. Prakiraan dampak ENSO serta tingkat keparahan kekeringan (melalui indeks kekeringan) dapat membantu menentukan kemungkinan terjadinya defisit tanaman selama musim tanam. Hubungan empiris antara data permukaan tanah dan iklim pada skala lokal dari pendekatan kami dapat mendukung pendekatan proaktif terhadap manajemen risiko

bencana kekeringan, melalui evolusi anomali iklim (dalam hal ini ENSO) dan potensi dampak buruknya di wilayah tersebut.

Oleh karena itu, pemantauan dan prediksi ENSO dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam mengurangi risiko bencana. Studi ini merupakan upaya pertama untuk memberikan penilaian dampak kekeringan pada vegetasi sehubungan dengan fenomena ENSO. Kami fokus pada wilayah vegetasi yang paling terkena dampak kekeringan dibandingkan lahan vegetasi dan bagaimana hal ini dapat diklarifikasi menggunakan citra satelit. Penting untuk dicatat bahwa varians indeks kekeringan (dan juga NDVI) sebagian besar disebabkan oleh anomali curah hujan dan suhu udara di wilayah yang diteliti. Pertanian di wilayah semi-kering ini secara ekologis rapuh, dan sumber udara utama adalah curah hujan, sehingga produksi tanaman sangat dipengaruhi oleh anomali curah hujan. Namun, meskipun respon keseluruhan variasi vegetasi terhadap curah hujan dan suhu udara sudah jelas, penting untuk mempertimbangkan variabel lain, seperti evapotranspirasi dan kelembaban tanah untuk meningkatkan model berbasis risiko. Permasalahan penting lainnya adalah jeda waktu respon vegetasi terhadap anomali curah hujan dan suhu udara yang menunjukkan histeresis 1–2 bulan. Temuan-temuan ini memberikan informasi untuk pengelolaan risiko kekeringan di masa depan dan penerapan sistem peringatan dini. LST dan NDVI memiliki hubungan yang bersifat negatif dimana saat Semakin tinggi tingkat keberadaan vegetasi, yang direpresentasikan pada sumbu x, maka suhu permukaan, yang diwakili oleh sumbu y, cenderung mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa vegetasi memiliki peran signifikan dalam mengurangi suhu permukaan menurut Fauzi et al. (2021).

2.5 Landsat-8

Dampak yang ditimbulkan rumah kaca (pemanasan global) adalah elnino. Istilah efek rumah kaca digunakan untuk menggambarkan fenomena yang menyerupai proses yang terjadi dalam rumah kaca. Pada rumah kaca, energi panas dari sinar matahari dapat menembus lapisan kaca dan masuk ke dalam ruangan. Namun, panas tersebut sebagian besar terperangkap di dalam karena tidak dapat keluar kembali melalui kaca. Akibatnya, suhu di dalam rumah kaca menjadi lebih tinggi dibandingkan suhu di luar ruangan. Fenomena serupa terjadi di atmosfer bumi dan dikenal sebagai efek rumah kaca.

Proses efek rumah kaca bermula ketika radiasi sinar matahari mencapai atmosfer bumi dan menembus hingga ke permukaan bumi. Permukaan bumi menyerap sebagian energi dari radiasi tersebut, sementara sisanya dipantulkan kembali ke atmosfer dalam bentuk radiasi inframerah atau panas. Namun, radiasi panas ini tidak dapat sepenuhnya lolos ke luar angkasa karena terhalang oleh gas-gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan uap air. Gas-gas ini membentuk lapisan di atmosfer yang mencegah pelepasan energi panas, sehingga menyebabkan panas tersebut terperangkap di dalam sistem atmosfer.

Akibat dari proses ini, suhu rata-rata permukaan bumi meningkat, yang dikenal sebagai pemanasan global. Gas-gas rumah kaca memungkinkan radiasi matahari masuk dengan mudah ke permukaan bumi, tetapi menghambat radiasi panas untuk keluar kembali ke luar angkasa. Kondisi ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan suhu global, tetapi juga berdampak signifikan pada stabilitas iklim dan kehidupan di bumi.

Energi yang berasal dari radiasi Matahari yang mencapai permukaan Bumi dapat menghadapi hambatan untuk kembali ke luar angkasa. Proses ini dikenal sebagai efek rumah kaca, di mana sebagian energi tersebut terjebak di atmosfer akibat interaksi dengan gas-gas rumah kaca. Gas-gas ini menyerap dan melepaskan kembali radiasi panas, sehingga menghambat pelepasan energi ke luar angkasa. Secara alami, efek rumah kaca berperan penting dalam menjaga suhu Bumi agar tidak terlalu dingin. Tanpa keberadaan proses ini, suhu rata-rata di permukaan Bumi diperkirakan akan berada di bawah titik beku, yang tidak mendukung kehidupan sehingga menyebabkan pemanasan global, yang berdampak pada perubahan iklim di planet kita.

.Mekanisme kerja efek rumah kaca dapat dijelaskan melalui proses fisika di mana energi matahari yang mencapai permukaan Bumi sebagian besar diserap, kemudian dipancarkan kembali ke atmosfer dalam bentuk energi panas. Ketika panas ini bergerak melalui atmosfer menuju luar angkasa, gas rumah kaca menyerap sebagian besar energi tersebut. Gas rumah kaca memiliki kemampuan untuk menyerap panas karena struktur molekulnya yang lebih kompleks dibandingkan molekul gas lain di atmosfer, seperti nitrogen (N_2) dan oksigen (O_2). Struktur molekul gas rumah kaca memungkinkan mereka menyerap dan memancarkan energi panas secara efisien.

Gas rumah kaca utama meliputi karbon dioksida (CO_2), uap air (H_2O), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O). Gas-gas ini terdiri dari molekul dengan tiga atom atau lebih yang memiliki ikatan atom cukup fleksibel untuk bergetar saat menyerap energi panas. Setelah menyerap panas, molekul gas rumah kaca memancarkan radiasi kembali, baik ke permukaan Bumi, ke molekul gas

rumah kaca lainnya, atau keluar menuju luar angkasa. Proses ini mengakibatkan panas tetap terperangkap di dekat permukaan Bumi, sehingga menjaga suhu atmosfer lebih hangat. Sebaliknya, sebagian besar gas di atmosfer, seperti nitrogen dan oksigen, tidak dapat menyerap panas karena struktur molekulnya yang sederhana, sehingga tidak berkontribusi terhadap efek rumah kaca. Hal inilah yang membuat gas rumah kaca menjadi komponen penting dalam proses pemanasan global.



Gambar 2. 3 Efek Rumah Kaca

Pengukuran NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dan LST (Land Surface Temperature) untuk keperluan pemetaan penurunan vegetasi serta peningkatan suhu permukaan dilakukan melalui metode penginderaan jauh berbasis satelit. Berdasarkan penjelasan Mantra yang dikutip dalam Pustaka Belajar Demografi Umum (2004), penginderaan jauh atau remote sensing merupakan teknik pemanfaatan gelombang radiasi elektromagnetik guna mengumpulkan informasi tentang lautan, daratan, dan atmosfer tanpa memerlukan

kontak langsung dengan objek, permukaan, atau fenomena yang diamati. Data hasil penginderaan jauh dapat berupa citra, grafik, maupun data numerik, yang kemudian dianalisis untuk memperoleh informasi lebih lanjut mengenai objek, wilayah, atau fenomena tertentu. Proses penting dalam penginderaan jauh adalah interpretasi citra, yaitu mengidentifikasi objek yang tergambar dalam citra dan mengevaluasi relevansi serta makna penting dari objek tersebut.

Sementara itu, Sutanto dalam bukunya *Penginderaan Jauh Dasar I* (1992) menjelaskan bahwa penginderaan jauh merupakan proses yang mencakup perekaman, pengamatan, dan penangkapan fenomena, objek, atau peristiwa dari jarak tertentu tanpa melibatkan kontak langsung antara sensor dengan objek yang diamati. Untuk menjalankan proses ini, diperlukan media sebagai penghubung antara objek dan sensor. Salah satu media yang paling umum digunakan adalah kendaraan satelit, yang berperan dalam mentransmisikan energi elektromagnetik. Energi elektromagnetik tersebut memperlihatkan sifat gelombang transversal, yang dapat digambarkan sebagai gerakan osilasi harmonik dengan frekuensi dan kecepatan tertentu atau sebagai pola gerak sinusoidal. Sifat gelombang ini dapat dirumuskan menggunakan persamaan dasar fisika sebagaimana dijelaskan oleh Sutanto (1992).

$$c = f \times \lambda \quad (2.11)$$

Dimana:

c = kecepatan pada cahaya ($3 \times 10^8 m/s$)

f = frekuensi (Hz)

λ = panjang gelombang (m)

Sifat radiasi elektromagnetik umumnya dijelaskan melalui teori gelombang, namun hubungan antara energi elektromagnetik dengan objek lainnya dapat dipahami melalui teori partikel. Dalam teori partikel, energi elektromagnetik dianggap terdiri dari bagian-bagian terpisah yang disebut foton. Perpaduan antara teori gelombang dan teori kuantum dalam menjelaskan perilaku radiasi elektromagnetik dapat diungkapkan melalui persamaan berikut:

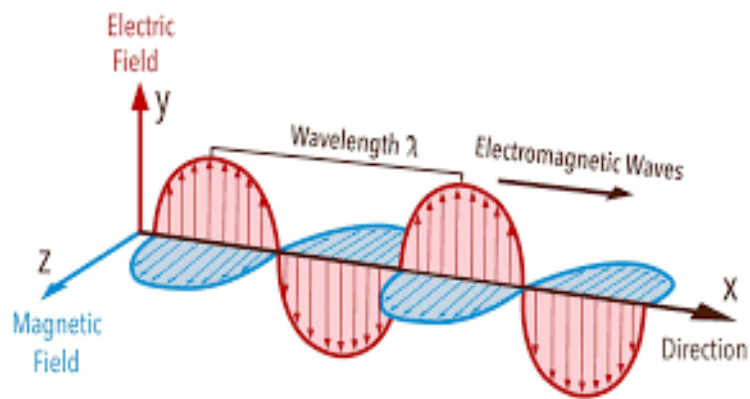
$$E = hc / \lambda \quad (2.12)$$

Dimana:

E adalah Energi foton (Ev)

h adalah tetapan planck ($6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$)

λ adalah panjang gelombang radiasi (dalam satuan meter, m).



Gambar 2. 4 Gelombang Elektromagnetik (Sumber: Sutanto, 1992)

Setiap objek dengan suhu di atas nol derajat mutlak (0°K atau -273°C) akan terus-menerus memancarkan radiasi elektromagnetik. Oleh karena itu, benda-benda di bumi berfungsi sebagai sumber radiasi, meskipun dengan variasi pada besarnya energi dan panjang gelombang spektralnya. Besar energi yang

dipancarkan oleh suatu objek bergantung pada suhu objek tersebut, sebagaimana dijelaskan dalam Hukum Stefan-Boltzmann (Susilo, 2017).

$$I_{total} = e \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.13)$$

Dimana:

- I_{total} adalah intensitas radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam (Watt/m)
- σ adalah tetapan Stefan-Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$)
- T^4 adalah Suhu mutlak benda (K^4)

Radiasi elektromagnetik yang dipancarkan dan melewati atmosfer dapat terdeteksi oleh sensor penginderaan jauh pada panjang gelombang tertentu. Fotografi luar angkasa menghasilkan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan menuju Bumi dan kemudian dipantulkan kembali setelah melewati dua lapisan atmosfer selama perjalanannya dari sumber radiasi menuju sensor. Di sisi lain, sensor termal mendeteksi energi yang dipancarkan oleh Bumi melalui panjang gelombang yang relatif pendek di atmosfer. Perbedaan jarak yang ditempuh, kondisi atmosfer, panjang gelombang yang digunakan, serta kekuatan sinyal energi dapat memengaruhi variasi total atmosfer. Pengaruh atmosfer terhadap intensitas radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam sangat bervariasi dalam sistem penginderaan satelit, disebabkan oleh mekanisme hamburan dan penyerapan yang terjadi di atmosfer (Sutanto, 1992).

Menurut Sutanto dalam bukunya Penginderaan Jauh Dasar I (1992), interaksi antara energi elektromagnetik dengan benda-benda di permukaan bumi dapat menghasilkan tiga kemungkinan: energi yang mengenai benda dapat dipantulkan, diserap, atau diteruskan. Proses ini mengikuti hukum fisika mengenai

kekekalan energi, yang menyatakan adanya hubungan timbal balik antara ketiga bentuk energi tersebut, yang dapat dijelaskan melalui rumusan sebagai berikut:

$$E1(\lambda) = ER(\lambda) + EA + ET(\lambda) \quad (2.14)$$

Dimana:

$E1(\lambda)$: Energi yang diterima oleh objek

$ER(\lambda)$: Energi yang dipantulkan oleh objek

$EA(\lambda)$: Energi yang diserap oleh objek

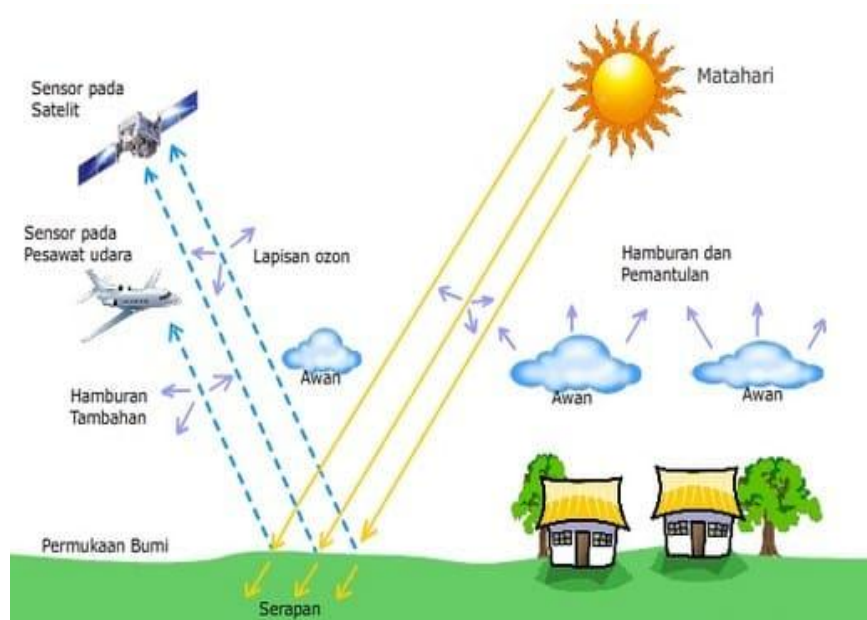
$ET(\lambda)$: Energi yang diteruskan melalui objek.

Persamaan di atas menggambarkan salah satu mekanisme kesetimbangan yang mencerminkan interaksi timbal balik antara pemantulan, penyerapan, dan transmisi energi elektromagnetik. Berdasarkan hal tersebut, dapat diambil dua kesimpulan utama, yaitu:

1. Energi yang dipantulkan, diserap, dan ditransmisikan oleh objek di permukaan bumi akan berbeda-beda tergantung pada jenis bahan dan kondisi permukaan objek tersebut. Perbedaan-perbedaan ini memudahkan dalam membedakan objek yang terdapat dalam citra satelit.
2. Pada panjang gelombang yang berbeda untuk objek yang sama, sebagian energi yang dipantulkan, diserap, dan ditransmisikan dapat berbeda. Perbedaan ini menghasilkan variasi spektral yang pada akhirnya menciptakan efek visual berupa warna yang terdeteksi oleh sensor (Sutanto, 1992).

Variasi spektral ini menunjukkan perbedaan dalam energi yang terdeteksi oleh sensor dan dapat digunakan untuk menghitung temperatur objek dengan mengacu pada persamaan Stefan-Boltzmann. Gambar 2.7 di bawah ini

menunjukkan bagaimana interaksi radiasi elektromagnetik dari matahari terdeteksi oleh sensor yang ada pada satelit.



Gambar 2. 5 Interaksi antara Energi Elektromagnetik (EM) dengan permukaan Bumi.

Salah satu satelit yang digunakan secara luas dalam penginderaan jauh, terutama untuk menganalisis penurunan vegetasi serta kenaikan suhu permukaan Bumi melalui deteksi parameter seperti Land Surface Temperature (LST) dan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), adalah satelit Landsat. Landsat, yang merupakan satelit yang diterbitkan oleh badan antariksa NASA, dirancang untuk mengumpulkan data yang berkaitan dengan sumber daya alam di Bumi, yang mencakup informasi tentang vegetasi, penggunaan lahan, dan berbagai perubahan lingkungan lainnya (Rustana, 2022). Satelit Landsat-8, sebagai salah satu tipe satelit dalam seri Landsat, diluncurkan pada tanggal 11 Februari 2013 di California, Amerika Serikat. Sejak peluncurannya, data yang dihasilkan oleh Landsat-8 telah tersedia secara terbuka dan dapat diakses oleh publik secara bebas

melalui berbagai platform penyedia data, seperti Earth Explorer, Look Viewer, dan Glovis, yang dikelola oleh USGS (United States Geological Survey) (USGS, 2022). Hal ini memungkinkan para peneliti dan pengguna data lainnya untuk mengakses dan menganalisis citra satelit dengan mudah untuk berbagai tujuan penelitian dan pemantauan lingkungan.

Satelit Landsat 8 memiliki periode orbit sekitar 99 menit, yang memungkinkan satelit ini untuk menyelesaikan satu putaran penuh mengelilingi Bumi dalam waktu singkat. Dengan kemampuan ini, satelit Landsat-8 dapat mencitrakan seluruh permukaan Bumi setiap 16 hari sekali, memberikan gambaran yang konsisten dan komprehensif mengenai perubahan di permukaan Bumi. Satelit ini dilengkapi dengan dua sensor utama, yaitu Operational Land Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS), yang menjadi komponen kunci dalam pengumpulan data penginderaan jauh. OLI bertugas untuk mengumpulkan data dalam berbagai panjang gelombang spektral, sementara TIRS fokus pada pengukuran suhu permukaan melalui citra termal. Selain kedua sensor tersebut, satelit Landsat-8 juga memiliki 11 band, yang terdiri dari 9 band spektral dan 2 band termal. Keberadaan band-band ini memungkinkan pemantauan dan analisis yang lebih mendalam terhadap berbagai fenomena alam, termasuk perubahan vegetasi dan suhu permukaan. Dari segi akurasi geodesi dan geometrik, satelit Landsat-8 menawarkan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan satelit Landsat sebelumnya, menjadikannya sebagai alat yang lebih efektif dalam mendapatkan citra dengan resolusi tinggi dan akurat untuk berbagai aplikasi penelitian dan pemantauan lingkungan (USGS, 2013).



Gambar 2. 6 Menampilkan ilustrasi dari satelit Landsat-8.

Landsat 8 memiliki kemampuan untuk merekam citra dengan resolusi spasial yang beragam, yang bervariasi antara 15 hingga 100 meter, serta dilengkapi dengan 11 saluran spektral (band) yang memiliki resolusi spektral yang juga bervariasi. Satelit ini dilengkapi dengan dua instrumen sensor utama, yaitu Operational Land Imager (OLI) dan Thermal InfraRed Sensor (TIRS). Sensor OLI dirancang untuk mengumpulkan data dengan resolusi spasial dan spektral yang sangat konsisten, memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan satelit Landsat sebelumnya (USGS, 2017). Selain itu, Landsat 8 memiliki kapasitas untuk mengumpulkan hingga 400 scene citra per hari, yang mana jumlah tersebut 150 kali lebih banyak dibandingkan dengan satelit Landsat 7 dalam periode yang sama.

Menurut Kevin (2019), pemanfaatan band 4 (Red) dan band 5 (Near InfraRed/NIR) sangat penting dalam analisis indeks vegetasi karena band 4 mampu menggambarkan perbedaan tingkat kemiringan vegetasi, sementara band 5 digunakan untuk meminimalkan pengaruh kandungan biomassa yang ada di

sepanjang garis pantai. Di sisi lain, band 10, yang berfungsi untuk mendeteksi suhu permukaan dan kelembaban tanah, memiliki peran yang signifikan dalam pemetaan termal. Namun, band 11 tidak digunakan dalam pengukuran, karena mengalami ketidakpastian kalibrasi sensor sejak 29 Maret 2016, yang mengurangi akurasi pengukurannya (Landsat-8 Manual, 2016).

Tabel 2.3 Band-band yang terdapat pada citra satelit Landsat-8 (Sumber: www Landsat.usgs.gov, 2023)

Landsat-8	Band	Panjang Gelombang(μm)	Resolusi(m)	Fungsi
Operational Land Imager	Band 4 – Red	0.630 – 0.680	30	Membedakan sudut vegetasi
Operational Land Imager	Band 5 – Near – Infrared	0.845 – 0.885	30	Mempertegas biomassa dan garis pantai
Thermal InfaRed Sensor	Band 10 – TIRS-1	10.30 – 11.30	100	Memetakan suhu dan analisis perhitungan kelembapan tanah

Berdasarkan Astrini dalam Modul Pelatihan Quantum GIS Tingkat Dasar (2014), Quantum GIS (QGIS) merupakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis *open source* yang bersifat lintas platform, sehingga mampu berjalan pada berbagai sistem operasi, termasuk Windows, MacOS, dan Linux. Sebagai perangkat lunak yang dirancang untuk memproses data spasial, QGIS memiliki kemampuan yang sebanding dengan perangkat lunak SIG komersial lainnya, seperti ArcGIS dan MapInfo, namun menawarkan keunggulan dalam hal efisiensi sumber daya. QGIS tidak memerlukan perangkat keras dengan spesifikasi tinggi, bebas biaya lisensi karena bersifat *open source*, dan memberikan fleksibilitas untuk dikembangkan lebih lanjut sesuai kebutuhan pengguna.

Fungsi dasar yang dapat dilakukan oleh QGIS meliputi berbagai operasi pemrosesan data spasial, seperti overlay layer, perhitungan luas suatu area, penambahan informasi atribut pada titik tertentu, hingga pembuatan tata letak peta. Selain itu, QGIS juga mendukung integrasi dengan perangkat GPS, memungkinkan pengguna untuk mengunggah, mengunduh, atau mengimpor data secara langsung antara GPS dan komputer. Dengan fitur dan fungsi yang memenuhi kebutuhan umum pengguna SIG, QGIS dianggap sebagai alternatif perangkat lunak pemetaan yang andal dan ekonomis untuk berbagai aplikasi, termasuk perencanaan tata ruang dan penyusunan peta tematik untuk keperluan kajian tertentu. Sejak pertama kali dirilis pada tahun 2002, QGIS terus berkembang hingga mencapai versi 2.2 Valmiera pada tahun 2014, dengan peningkatan fitur dan performa yang mendukung berbagai keperluan pemetaan secara lebih optimal (Astrini, 2014).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang relevan dijadikan sebagai acuan dalam penelitian ini meliputi berbagai studi terkait analisis kekeringan berbasis penginderaan jauh dan sistem informasi geografis.

Penelitian pertama dilakukan oleh Mochammad Fajar Fadhillah, Rintih Hadiani, dan Solichin dengan judul "Analisis Kekeringan Hidrologi Berdasarkan Metode NDVI di Daerah Aliran Sungai Alang, Kabupaten Wonogiri". Dalam penelitian ini, metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) digunakan untuk menganalisis kekeringan. Dari nilai NDVI yang diperoleh, dihasilkan indeks kekeringan yang kemudian divisualisasikan melalui grafik hubungan antara indeks kekeringan dan debit air, serta pemetaan persebaran

kekeringan menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Penelitian ini menyimpulkan bahwa data penginderaan jauh mampu menyajikan informasi yang akurat mengenai persebaran luas kekeringan di DAS Alang, Kabupaten Wonogiri.

Penelitian kedua dilakukan oleh Gabriel Yedaya Immanuel Ryadi, Abdi Sukmono, dan Bandi Sasmito dengan judul "Pengaruh Fenomena El Niño dan La Niña pada Persebaran Curah Hujan dan Tingkat Kekeringan Lahan di Pulau Bali". Penelitian ini menggunakan gabungan metode analisis citra harian untuk data suhu permukaan laut dan curah hujan, serta metode Normalized Difference Drought Index (NDDI) dan Vegetation Health Index (VHI) untuk mengkaji kekeringan di daratan. Hasilnya menunjukkan hubungan erat antara suhu permukaan laut dan curah hujan pada pola El Niño dan La Niña. Studi ini mengungkapkan bahwa perubahan indeks ONI (Oceanic Niño Index) sebagai indikator El Niño dan La Niña memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan luas lahan kekeringan, dengan tingkat pengaruh mencapai 86%.

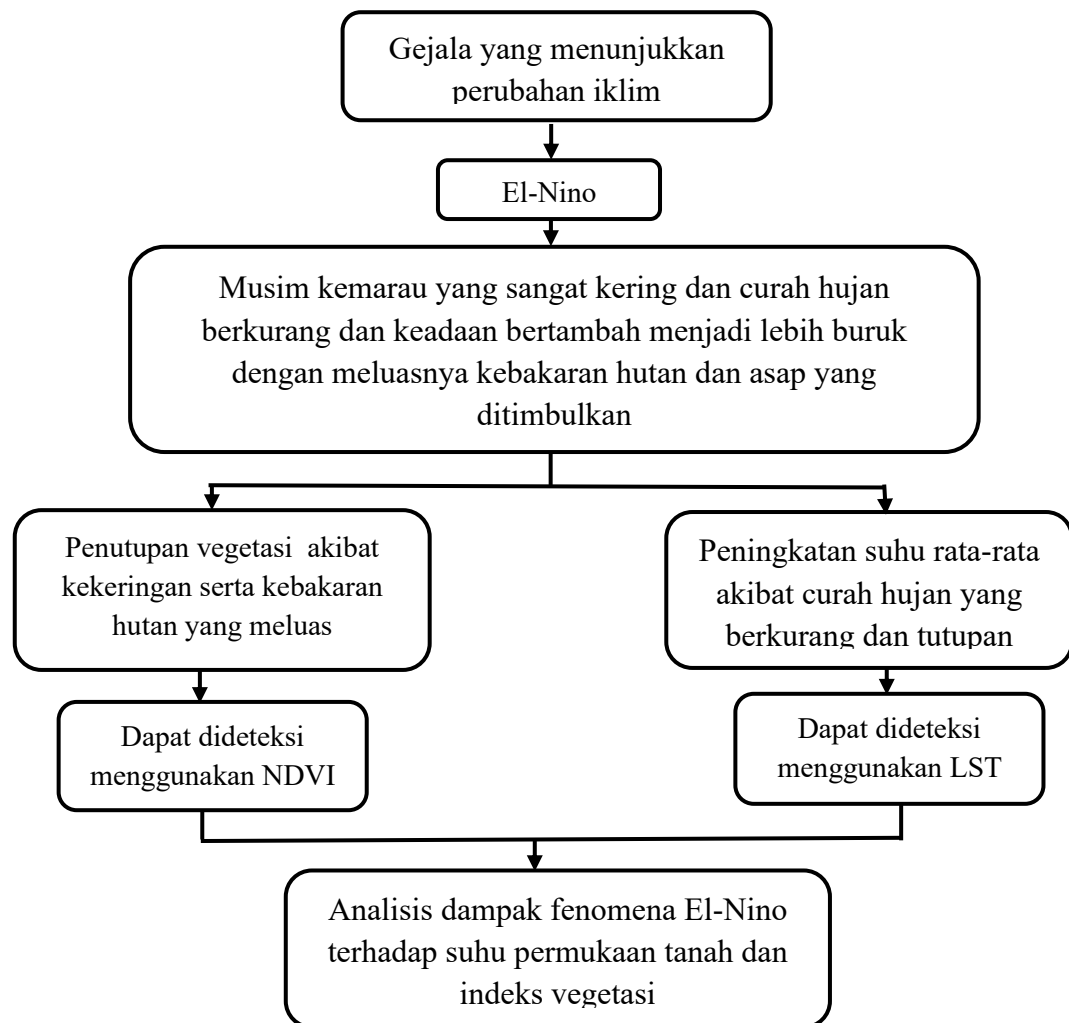
Penelitian ketiga dilakukan oleh Ibnu Athoillah, Rini Mariana, dan Deassy Eirene Doloksaribu dengan judul "Analisis Spasial El Niño Kuat Tahun 2015 dan La Niña Lemah Tahun 2016: Pengaruhnya terhadap Kelembapan, Angin, dan Curah Hujan di Indonesia". Metode yang digunakan bersifat deskriptif dan statistik untuk menggambarkan dampak El Niño pada tahun 2015 dan La Niña pada tahun 2016 terhadap wilayah Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa El Niño pada periode kering (Juli–Oktober 2015) secara signifikan menurunkan kelembapan udara dan mengurangi intensitas curah hujan, sedangkan La Niña memberikan efek yang lebih lemah.

Penelitian keempat dilakukan oleh Ghinia Anastasia dan Intan Purwardhi dengan judul "Perubahan Fase Pertumbuhan Padi Sawah Tadah Hujan saat El Niño di Kabupaten Gorontalo". Penelitian ini mengkombinasikan metode NDVI dan TCT (Tasseled Cap Transformation) untuk menganalisis fase pertumbuhan padi sawah tadah hujan selama El Niño. Hasil penelitian menunjukkan adanya pergeseran pola tanam yang menyebabkan pergeseran fase pertumbuhan padi, di mana fase reproduksi dan pematangan terjadi pada Desember 2016 hingga Januari 2017. Sementara itu, fenomena El Niño yang terjadi pada Januari hingga Februari 2016 juga memengaruhi fase pertumbuhan padi.

Penelitian terakhir dilakukan oleh Muharrama Putra Prayoga dengan judul "Analisis Spasial Tingkat Kekeringan Wilayah Berbasis Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis". Penelitian ini menggunakan metode NDVI, Normalized Difference Water Index (NDWI), dan Land Surface Temperature (LST) untuk mengintegrasikan data penginderaan jauh dengan kondisi fisiografis wilayah. Hasil penelitian menghasilkan peta tingkat kekeringan di Kabupaten Tuban yang diklasifikasikan ke dalam lima kategori: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Sebagian besar wilayah Kabupaten Tuban termasuk dalam kategori kekeringan tinggi dengan luas 119.388,50 hektar (60,60% dari total wilayah), sedangkan kategori kekeringan sangat rendah hanya mencakup 180,48 hektar (0,09%).

Seluruh penelitian tersebut memberikan kontribusi yang signifikan dalam memahami analisis kekeringan menggunakan teknologi penginderaan jauh dan SIG, serta menjadi dasar yang relevan untuk penelitian selanjutnya.

2.7 Kerangka Berfikir



Gambar 2. 7 Kerangka Berfikir

El Niño memberikan dampak yang signifikan terhadap berbagai aspek kehidupan di Indonesia, terutama terkait kondisi iklim dan lingkungan. Fenomena ini sering kali menyebabkan penurunan curah hujan yang drastis, yang pada gilirannya memicu kekeringan berkepanjangan, kekurangan air bersih, gagal panen, hingga peningkatan risiko kebakaran hutan dan lahan. Dampak yang ditimbulkan oleh El Niño sangat bergantung pada intensitas, durasi, serta musim

yang sedang berlangsung, sehingga setiap kejadian dapat memberikan efek yang berbeda-beda di wilayah tertentu.

Di Indonesia, El Niño cenderung memperparah kondisi kering, mengurangi tutupan awan, dan meningkatkan suhu udara. BMKG mencatat bahwa puncak dampak El Niño pada tahun 2023 terjadi sekitar bulan Agustus hingga September, dengan prediksi bahwa musim kemarau tahun tersebut akan lebih kering dibandingkan dengan tiga tahun sebelumnya. Hal ini menjadi perhatian karena curah hujan yang sangat rendah dapat mengakibatkan berbagai wilayah mengalami kekeringan parah.

Kondisi ini juga meningkatkan risiko terjadinya kebakaran hutan dan lahan (karhutla). Minimnya curah hujan menciptakan lingkungan yang mudah terbakar, sehingga wilayah yang terdampak kekeringan rentan mengalami kebakaran yang meluas. Fenomena ini menjadi tantangan serius, mengingat dampak kebakaran hutan dan lahan tidak hanya merusak ekosistem lokal tetapi juga memengaruhi kualitas udara, kesehatan masyarakat, serta perekonomian secara keseluruhan.

Fenomena cuaca panas ekstrem yang terjadi selama periode Lebaran dan H+1 baru-baru ini disebabkan oleh lima faktor utama. Pertama, adanya dinamika atmosfer yang tidak biasa yang memengaruhi pola cuaca regional. Kedua, terjadinya gelombang panas di wilayah Asia yang turut memengaruhi suhu di Indonesia. Ketiga, dampak dari tren pemanasan global dan perubahan iklim yang semakin memperburuk kondisi cuaca ekstrem. Keempat, dominasi monsun Australia, yang menandai awal musim kemarau di Indonesia. Kelima, intensitas maksimum radiasi matahari yang terjadi akibat kondisi cuaca cerah dengan minimnya tutupan awan.

Suhu ekstrem yang tercatat mencapai 37,2 derajat Celsius merupakan kondisi yang sangat panas untuk wilayah Indonesia, bahkan melebihi rata-rata suhu tinggi di musim kemarau. Secara umum, Indonesia memang sedang memasuki musim kemarau, yang secara alami menyebabkan suhu meningkat. Namun, kehadiran fenomena El Niño berkontribusi pada peningkatan suhu yang lebih signifikan dibandingkan dengan kondisi normal. Peningkatan suhu permukaan ini tidak hanya menimbulkan risiko terhadap iklim tetapi juga menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan seperti kekeringan dan kerusakan ekosistem.

Dalam memahami perubahan iklim dan cuaca secara global, teknologi penginderaan jauh berbasis cloud computing, seperti Google Earth Engine (GEE), menawarkan solusi inovatif. GEE memungkinkan analisis perubahan suhu permukaan dan distribusinya secara time series dengan memanfaatkan data citra satelit dari berbagai sumber, seperti Landsat, Sentinel, dan MODIS. Teknologi ini memudahkan pengguna dalam mengakses, menganalisis, dan memvisualisasikan data dalam skala global maupun regional untuk mendukung studi perubahan iklim dan pemantauan cuaca ekstrem.

Selain itu, perkembangan teknologi satelit memberikan kemampuan komprehensif untuk mempelajari dan mendeteksi fenomena cuaca dan iklim, terutama pada wilayah yang luas dan sulit dijangkau. Data satelit lingkungan dan cuaca yang tersedia memungkinkan pendeteksian gejala-gejala alam yang berkaitan dengan kekeringan, termasuk perubahan vegetasi yang diukur melalui parameter indeks vegetasi. Indeks kekeringan dapat ditentukan melalui algoritma berbasis dua parameter utama, yaitu Normalized Difference Vegetation Index

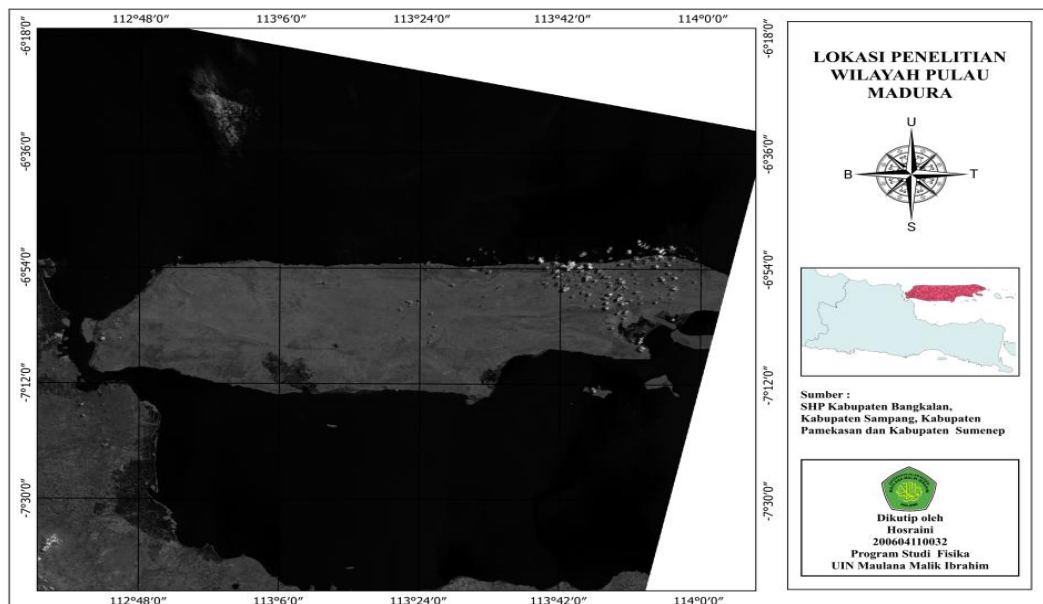
(NDVI) dan suhu permukaan (Land Surface Temperature, LST). Kedua parameter ini dapat diperoleh dari hasil ekstraksi data spektral citra satelit, seperti Landsat 8, yang memberikan informasi detail untuk analisis kekeringan dan perubahan vegetasi secara spasial dan temporal. Pemanfaatan teknologi ini mendukung pengelolaan sumber daya alam yang lebih efektif dan mitigasi risiko perubahan iklim secara berkelanjutan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Desember tahun 2023. Data yang digunakan berupa data citra satelit selama bulan September tahun 2021, 2022 dan 2023. Lokasi penelitian ini adalah wilayah Pulau Madura, Provinsi Jawa Timur dengan koordinat geografis $112^{\circ} 40' 32''$ Bujur Timur sampai dengan $114^{\circ} 37' 17''$ Bujur Timur dan $6^{\circ} 52' 42''$ Lintang Selatan.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Perangkat Lunak

- a) Data dari satelit Landsat-8 dengan sensor *Operational Land Imager/Temperature Infrared Sensor* digunakan sebagai sumber utama dalam pengolahan data penelitian.

- b) Laptop Acer Aspire 3 dimanfaatkan sebagai perangkat utama untuk mengolah dan menganalisis data penelitian.
- c) Printer digunakan untuk mencetak laporan hasil penelitian sebagai bagian dari dokumentasi hasil kerja.
- d) Alat tulis digunakan sebagai media pendukung dalam mencatat dan mendokumentasikan berbagai keperluan selama proses penelitian.

3.2.2 Perangkat Keras

- a) QuantumGIS digunakan untuk mengonversi data citra satelit, memvisualisasikan citra, serta membuat tata letak peta. Selain itu, QuantumGIS juga dimanfaatkan dalam pengolahan data citra satelit, khususnya pada tahap koreksi radiometrik.
- b) Microsoft Office 2010
- c) Microsoft Excel 2010.

3.3 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa sumber, antara lain: citra satelit Landsat-8 dengan Path/Row 118/065 pada Band 4 dan 5 yang diakuisisi pada bulan September tahun 2021, 2022, dan 2023 (sumber: <http://earthexplorer.usgs.gov>); citra satelit Landsat-8 dengan Path/Row 118/065 pada Band 10 yang diakuisisi pada bulan September tahun 2021, 2022, dan 2023 (sumber: <http://earthexplorer.usgs.gov>); serta batas administrasi yang diperoleh dari peta RBI dengan skala 1:25.000.

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang meliputi tahap persiapan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, serta teknik analisis. Adapun penjelasan rinci mengenai tahapan-tahapan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.1 Tahapan Persiapan

Pada tahapan persiapan, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan sebelum penelitian dapat dilaksanakan secara penuh, antara lain sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, langkah pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian. Fokus penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak fenomena El Niño terhadap kekeringan di Pulau Madura dengan menggunakan dua parameter utama, yaitu Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Land Surface Temperature (LST). Pertanyaan yang akan dijawab dalam penelitian ini meliputi: Bagaimana dampak El Niño terhadap kekeringan di Pulau Madura berdasarkan parameter NDVI dengan menggunakan data citra satelit Landsat 8? Bagaimana dampak El Niño terhadap kekeringan di Pulau Madura berdasarkan parameter LST yang juga menggunakan data citra satelit Landsat 8? Dan, bagaimana hubungan antara NDVI dan LST yang terjadi akibat dampak fenomena El Niño di Pulau Madura?

2. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, dilakukan pencarian buku-buku, jurnal, serta skripsi dari penelitian terdahulu yang relevan dan dapat mendukung

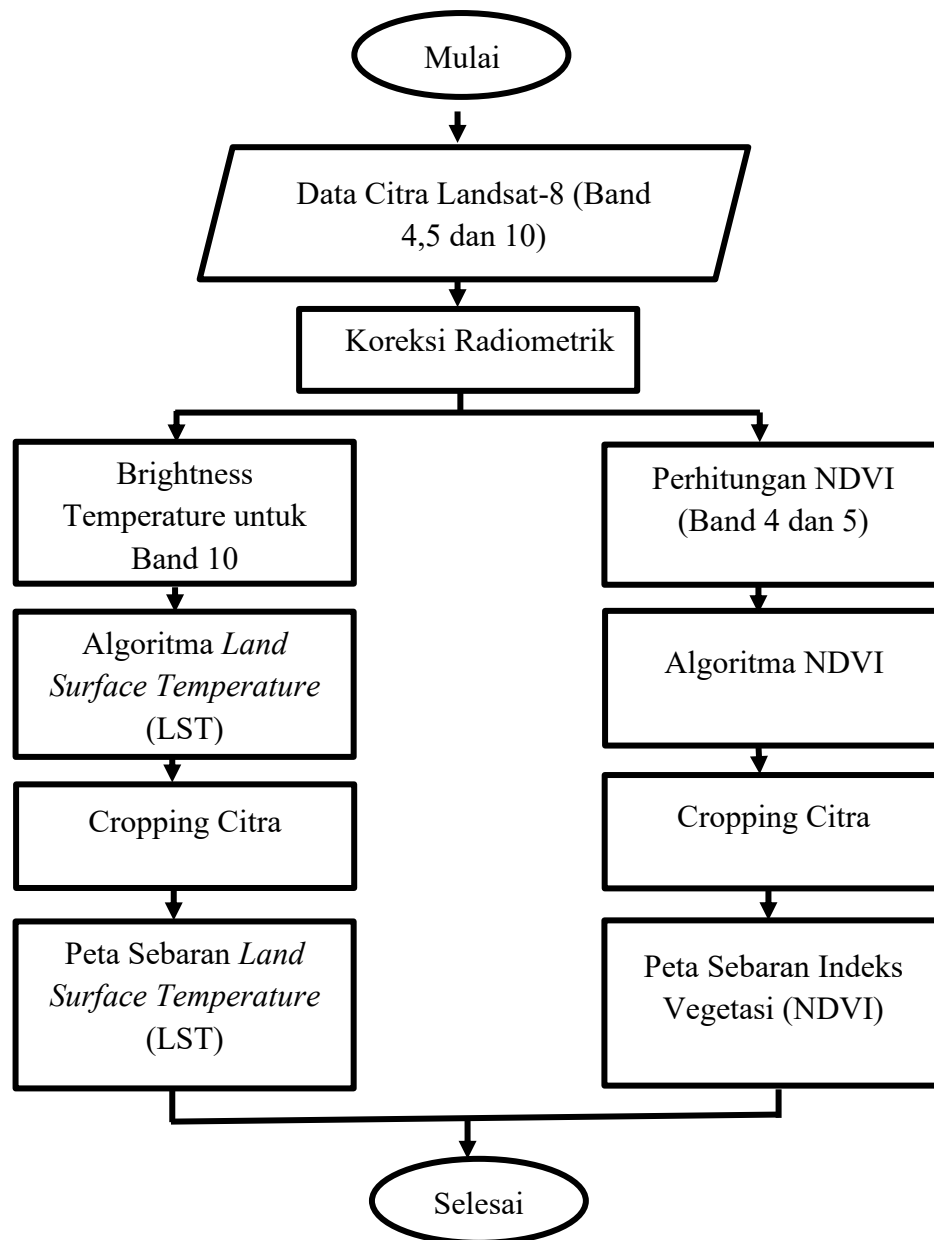
penelitian ini. Literatur yang dicari meliputi berbagai topik terkait dengan perubahan iklim, fenomena El Niño, kekeringan, penggunaan NDVI dan LST dalam pemetaan kekeringan, serta hubungan antara fenomena El Niño, LST, dan NDVI. Selain itu, literatur mengenai citra satelit Landsat-8 juga menjadi bagian penting dalam studi literatur ini.

3.4.2 Teknik Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data, penelitian ini menggunakan metode survey sekunder, yang merupakan pengumpulan data yang diperoleh secara tidak langsung melalui berbagai sumber yang telah ada. Survey sekunder yang dilakukan dalam penelitian ini melibatkan dua jenis survey, yaitu survey literatur dan survey instansional. Survey Instansional dilakukan untuk memperoleh dokumen-dokumen yang berkaitan dengan objek penelitian dari instansi terkait, dalam hal ini adalah peta administrasi yang diperoleh dari BMKG Trunojoyo Sumenep. Survey Literatur dilakukan untuk memperoleh data yang berkaitan dengan objek penelitian melalui pustaka atau literatur yang relevan, di antaranya adalah citra satelit Landsat 8 yang diunduh dari website U.S. Geological Survey (USGS) melalui <http://earthexplorer.usgs.gov/>

3.4.3 Tahapan Pengolahan Data

Berikut ini adalah berbagai tahapan dalam pemrosesan data citra satelit Landsat-8 yang digunakan dalam penelitian ini.:



Gambar 3. 2 Tahapan Pengolahan Data

1. Koreksi Radiometrik

Pada penelitian ini, dilakukan proses koreksi radiometrik yang bertujuan untuk memperbaiki nilai piksel pada citra satelit agar sesuai dengan kondisi yang seharusnya, dengan mempertimbangkan faktor-faktor gangguan atmosfer yang sering menjadi sumber kesalahan utama dalam pemrosesan citra satelit (Soenarmo, 2009). Koreksi radiometrik ini mencakup dua aspek penting, yaitu kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosferik. Kalibrasi radiometrik berfungsi untuk mengubah nilai digital (DN) yang terdapat dalam citra asli hasil unduhan menjadi nilai yang lebih representatif, yaitu radian atau reflektan pada Top of Atmospheric (ToA). Sementara itu, koreksi atmosferik pada penelitian ini menggunakan metode FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), yang dilakukan untuk meminimalkan pengaruh gangguan atmosfer terhadap citra.

Proses koreksi ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Quantum GIS (QGIS), dimulai dengan membuka aplikasi QGIS dan memilih opsi raster -> Projections -> Warp (Reprojection) untuk melakukan transformasi data.

Dalam penelitian ini, hanya Band 10 yang digunakan, yang merupakan band Thermal Infrared dari Landsat-8, karena band lainnya, seperti Band 11, terpengaruh oleh gangguan stray light yang mengurangi akurasi untuk tujuan penelitian ilmiah (USGS). Oleh karena itu, citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat-8 yang terdiri dari Band 10 (Thermal Infrared), Band 4 (Red), dan Band 5 (Near Infrared). Digital Number (DN) dari ketiga band tersebut akan diekstraksi untuk menghitung suhu permukaan (LST) melalui beberapa tahapan.

Tahap pertama dalam proses ini adalah mengonversi DN dari Band 10 menjadi ToA Radiance. Sensor Landsat Thermal Infrared Sensor (TIRS) menyimpan informasi suhu dalam bentuk Digital Number (DN) dengan rentang nilai antara 0 hingga 255. Untuk memperoleh data kuantitatif yang diperlukan dalam penelitian ini, DN tersebut perlu dikonversi menjadi kuantitas fisik, yaitu radiance dan brightness temperature. Untuk melakukan konversi DN menjadi TOA radiance, digunakan rumus berikut yang melibatkan konstanta-konstanta yang terdapat dalam file metadata citra Landsat yang telah diunduh:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

Dimana:

L_{λ} = TOA spectral radiance (dalam satuan Watts/(m² * srad * μm))

M_L = Faktor skala perkalian spesifik band dari metadata (RADIANCE_MULT_BAND_x, dimana X adalah nomor band, yaitu 10 atau 11)

A_L = Faktor skala penambahan spesifik band dari metadata (RADIANCE_ADD_BAND_x, dimana X adalah nomor band, yaitu 10 atau 11)

Q_{cal} = Nilai pixel citra satelit (DN).

Dengan melakukan konversi ini, data suhu yang akurat dapat diperoleh untuk analisis lebih lanjut dalam penelitian mengenai suhu permukaan (LST) dan dampak fenomena El Niño terhadap kekeringan di Pulau Madura.

2. Perhitungan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Dalam tahap pengolahan data citra satelit menggunakan QuantumGIS, perhitungan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dilakukan untuk

menganalisis tingkat kehijauan vegetasi di wilayah yang diteliti. Untuk memulai, citra dari Band 4 (merah) dan Band 5 (Near Infrared/NIR) yang telah melalui proses koreksi radiometrik menggunakan SCP-Plugin ditambahkan ke dalam layer di QuantumGIS. Setelah itu, langkah berikutnya adalah membuka kalkulator raster untuk memasukkan persamaan perhitungan NDVI. Persamaan ini dihitung dengan menggunakan rumus berikut: $(band\ 5 - band\ 4) / (band\ 5 + band\ 4)$.

Setelah rumus dimasukkan, citra hasil kalkulasi NDVI akan disimpan pada lokasi output yang telah ditentukan sebelumnya, dengan tetap menggunakan format GeoTIF yang sama seperti sebelum citra tersebut diproses. Sebelum melanjutkan, penting untuk memeriksa validitas rumus yang dimasukkan, yang dapat dilihat pada bagian bawah kotak rumus. Jika rumus yang dimasukkan valid, akan muncul tulisan “valid expression” yang menandakan bahwa rumus tersebut telah diterima oleh system.

Perhitungan NDVI bertujuan untuk mengetahui tingkat penyerapan radiasi matahari oleh vegetasi, terutama pada bagian daun tanaman. Indeks NDVI memberikan informasi mengenai keberadaan vegetasi hijau pada setiap piksel citra raster dan memungkinkan analisis komposisi permukaan yang dapat diterapkan untuk mendapatkan nilai emisivitas. Secara prinsip, NDVI dihitung berdasarkan perbedaan reflektansi antara kanal cahaya tampak (merah) dan kanal inframerah dekat (NIR). Nilai NDVI ini memiliki rentang antara -1 hingga 1, dimana semakin mendekati nilai 1, semakin tinggi tingkat kehijauan vegetasi pada area tersebut. Input untuk perhitungan NDVI pada penelitian ini adalah citra Band 4 dan Band 5 yang telah dikonversi menjadi TOA Reflectance dengan koreksi sudut matahari, yang dihasilkan pada tahap sebelumnya.

Rumus untuk perhitungan NDVI adalah sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (2.1)$$

Dimana:

NIR = Nilai digital citra saluran inframerah dekat / nilai DN band NIR pada band 5

Red = Nilai digital citra saluran merah/ nilai DN band RED pada band 4

3. Perhitungan LST

Pada proses pengolahan Land Surface Temperature (LST), citra satelit Landsat 8 menggunakan Band 10 sebagai data utama. Tahap awal dalam pengolahan ini adalah menghitung nilai radian pada citra termal (Band 10), di mana nilai tersebut diperoleh melalui persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya. Nilai-nilai konstanta yang digunakan dalam perhitungan diambil dari metadata citra yang diperoleh melalui file hasil unduhan dengan format Metadata Text File (MTL). Format ini mencantumkan parameter seperti RADIANCE_MULT_BAND_X dan RADIANCE_ADD_BAND_X, di mana setiap nilai untuk masing-masing band memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga penting untuk memastikan keakuratan dalam penginputan konstanta tersebut ke dalam persamaan. Langkah pertama dalam pengolahan ini adalah memasukkan citra Band 10 yang belum diproses ke dalam QuantumGIS. Setelah itu, raster kalkulator dibuka untuk memulai perhitungan. Pada tahap ini, penting untuk menentukan lokasi penyimpanan hasil pengolahan di direktori output terlebih dahulu. Hasil dari pengolahan ini tetap disimpan dalam format GeoTIF untuk menjaga kompatibilitas data citra yang akan digunakan sebagai input pada tahap selanjutnya.

Tahap berikutnya adalah menghitung At-Satellite Brightness Temperature (suhu kecerahan satelit pada satuan Celcius). Sensor radiometer satelit, seperti pada Landsat 8, memantau radiasi dari permukaan bumi yang mungkin juga dipengaruhi oleh atmosfer. Data radiasi yang diperoleh dari radiometer ini biasanya dikonversi menjadi brightness temperature dalam satuan Kelvin, yang merupakan suhu efektif yang dapat diukur oleh satelit dengan asumsi bahwa permukaan bumi berperilaku seperti benda hitam yang memancarkan energi sesuai dengan Hukum Planck. Dengan demikian, brightness temperature dapat digunakan untuk memperkirakan suhu permukaan bumi. Untuk memperoleh nilai ini, data nilai digital number (DN) dari Band 10 dikonversi menjadi nilai radiance menggunakan persamaan radiasi spektral TOA, dan selanjutnya dikonversi menjadi brightness temperature menggunakan rumus berikut: (Bhullar, 2014).

$$T_B = K2 / \ln(K1 / L \lambda + 1) - 273.15$$

Dimana :

- T_B = At-satellite brightness temperature (K)
- L = TOA Spectral radiance (Watts/(m²*srad*μm))
- $K1$ = konstanta konversi termal spesifik band dari metadata
(K1_CONSTANT_BAND_X)
- $K2$ = Konstanta konvers termal spesifik band dari metadata
(K2_CONSTANT_BAND_X)

Setelah nilai brightness temperature (T_B) diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung LST menggunakan rumus berikut:

$$LST = \frac{T_B}{\left\{1 + \left[\left(\frac{\lambda T_B}{c_2}\right) (\ln \epsilon_\lambda)\right]\right\}}$$

Dimana

- LST = Suhu Permukaan Tanah ($^{\circ}\text{C}$)
- λ = panjang gelombang yang dipancarkan (μm) *band* 10
- $C2 = 14388 \mu\text{m K}$
- ε_{λ} = emisivitas permukaan

4. Cropping citra

Proses cropping area dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan peta RBI skala 1:25.000 yang sesuai dengan batas administrasi wilayah studi kasus, yaitu Pulau Madura. Tahap ini bertujuan untuk membatasi wilayah analisis agar lebih fokus dan mempercepat proses pengolahan data. Pemotongan citra dilakukan menggunakan perangkat lunak QuantumGIS dengan langkah-langkah yang sederhana namun efektif. Langkah awal dimulai dengan membuka menu Raster -> Extraction -> Clipper, kemudian menentukan lokasi penyimpanan file output sesuai dengan preferensi penelitian. Setelah itu, pada bagian "Clipping Mode," pengguna dapat memilih opsi "Extent atau Mask layer" untuk menentukan area pemotongan. Untuk membuat batas wilayah (boundary), pengguna dapat menggunakan fitur mouse pada citra untuk menggambar area yang diinginkan, lalu mengklik tombol "OK" untuk melaksanakan proses cropping. Jika pemotongan dilakukan berdasarkan layer tertentu, opsi "Mask Layer" pada bagian "Clipping Mode" harus dipilih sebelum melanjutkan proses dengan mengklik "OK."

5. Perhitungan Luasan NDVI dan LST

Setelah proses perhitungan NDVI dan LST selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah menghitung luasan wilayah secara digital dengan

memanfaatkan perangkat lunak QGIS. Tahapan ini dimulai dengan membuka menu Processing pada toolbar, lalu memilih opsi Toolbox. Namun, sebelum melanjutkan ke perhitungan luasan, perlu dilakukan proses klasifikasi data terlebih dahulu. Untuk itu, fitur Reclassify by Table pada kolom pencarian Processing Toolbox digunakan, kemudian dilakukan pengisian tabel tetap (fixed table) sesuai dengan ketentuan klasifikasi yang telah ditentukan. Setelah itu, ditentukan lokasi penyimpanan output file, kemudian proses dijalankan dengan menekan tombol Run. Apabila proses klasifikasi berhasil, maka tahapan berikutnya adalah perhitungan luasan.

Perhitungan luasan dilakukan dengan kembali mengakses Processing Toolbox, memilih fungsi perhitungan luasan, dan mengisi parameter inputs selected. Pada bagian Units [optional], dipilih opsi “k” untuk menyatakan satuan area. Selanjutnya, lokasi penyimpanan hasil perhitungan ditentukan, dan proses dijalankan. Hasil akhir dari perhitungan ini berupa data luasan wilayah dalam format teks (.txt) yang memuat informasi terkait distribusi area berdasarkan nilai NDVI dan LST.

3.4.4 Teknik Analisis

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik analisis spasial berbasis penginderaan jauh. Dalam hal ini, untuk menganalisis suhu permukaan atau yang lebih dikenal dengan Land Surface Temperature (LST) serta Indeks Vegetasi yang diwakili oleh Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), digunakan metode pengolahan citra satelit yang dibantu dengan perangkat lunak QGIS.

Hasil dari pengolahan data citra satelit tersebut berupa peta indeks vegetasi dan peta suhu permukaan tanah yang menggambarkan kondisi vegetasi serta suhu permukaan pada Pulau Madura. Setelah peta-peta tersebut diperoleh, analisis data dilakukan untuk memeriksa hubungan antara Land Surface Temperature dan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di Pulau Madura, dengan menggunakan citra satelit Landsat 8 yang mencakup data dari tahun 2021, 2022, dan 2023 selama musim kemarau. Adapun tahapan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Indeks Vegetasi (NDVI)

Indeks Vegetasi dalam penelitian ini dihitung dengan menerapkan algoritma NDVI. Proses identifikasi peta indeks vegetasi dilakukan dengan interpretasi citra satelit untuk mengamati perubahan warna serta nilai NDVI, yang digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi adanya perubahan vegetasi pada kondisi tahun 2021, 2022, dan 2023 selama musim kemarau. Nilai NDVI yang diperoleh untuk masing-masing tahun tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel yang mencantumkan nilai maksimum dan minimum NDVI. Selanjutnya, dilakukan uji korelasi antara nilai NDVI dan pengaruh fenomena El-Nino yang terjadi pada periode tersebut.

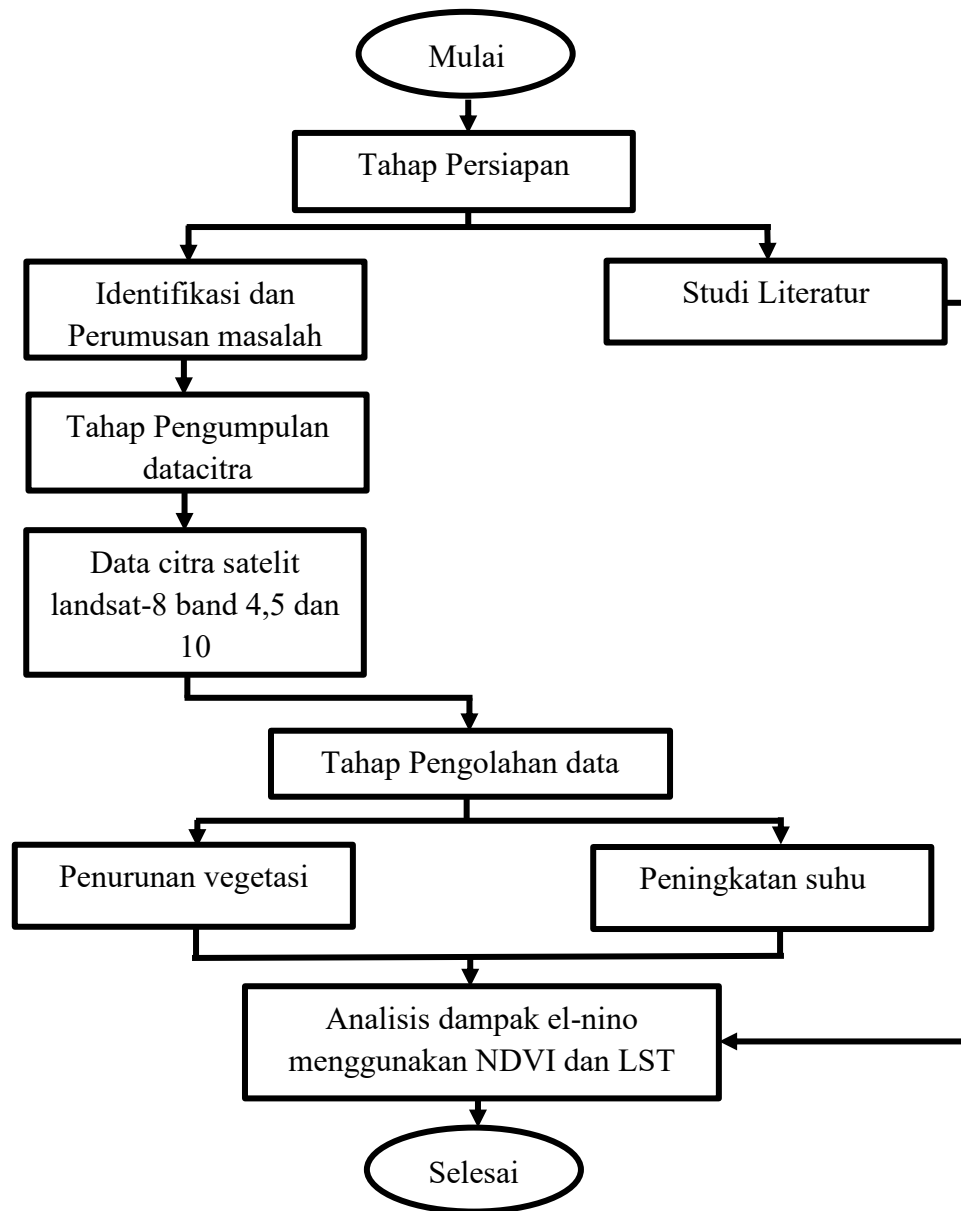
b) Suhu Permukaan Tanah (LST)

Suhu permukaan tanah pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan algoritma LST. Proses identifikasi peta suhu permukaan tanah dilakukan melalui interpretasi citra untuk mengamati perubahan warna pada citra satelit serta menentukan nilai suhu maksimum dan minimum LST. Nilai LST yang diperoleh pada tahun 2021, 2022, dan 2023 selama

musim kemarau akan disajikan dalam bentuk tabel dengan mencantumkan nilai suhu maksimum dan minimum untuk masing-masing tahun.

Hasil dari kedua peta tersebut, yakni nilai NDVI dan LST, kemudian dianalisis untuk memperoleh informasi mengenai hubungan antara suhu permukaan tanah (LST) dan indeks vegetasi (NDVI) di Pulau Madura, serta untuk mengevaluasi dampak fenomena El-Nino terhadap perubahan tersebut, dengan menggunakan data citra Landsat 8 yang mencakup periode waktu yang relevan.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian

Tingkat kerawanan kekeringan hasil analisis dari bencana potensi kekeringan di Pulau Madura menggunakan citra Landsat 8 OLI/TIRS pada band 4, band 5 dan band 10 bulan September periode 2021, 2022 dan 2023.

Produk citra Landsat 8 yang diunduh dari situs USGS tersedia dalam format GeoTIFF, yang merupakan produk citra yang telah dikalibrasi dan dikonversi ke dalam bentuk Digital Number (DN), atau nilai piksel. Citra dengan format 16-bit unsigned integer ini dapat dikonversi kembali untuk merepresentasikan energi yang diterima oleh sensor, yaitu energi yang ada sebelum data tersebut diproses menjadi piksel. Oleh karena itu, produk citra Landsat 8 yang diperoleh perlu dikoreksi lebih lanjut untuk memperoleh nilai yang lebih akurat, salah satunya dengan mengubahnya menjadi Top of Atmosphere (TOA) reflectance atau radiance. Proses ini melibatkan rescaling nilai piksel yang ada, sehingga nilai-nilai digital dapat dikonversi menjadi satuan energi radiasi yang sesungguhnya diterima oleh sensor.

Nilai-nilai yang diperlukan untuk melakukan konversi ini biasanya terdapat dalam file metadata citra dengan format MTL (Metadata File). Di dalam file metadata tersebut, terdapat informasi tentang konstanta-konstanta penting seperti `RADIANCE_MULT_BAND_x` dan `RADIANCE_ADD_BAND_x`, yang berbeda-beda untuk setiap band citra. Oleh karena itu, perlu perhatian khusus saat menginputkan nilai-nilai konstanta tersebut ke dalam persamaan. Berikut adalah

nilai-nilai dari masing-masing konstanta yang terbaca, diantaranya sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Konstanta faktor pengali dari masing-masing band

TAHUN	RADIANCE_MULT_BAND_x	NILAI
2021	RADIANCE_MULT_BAND_4	9.8222E-03
	RADIANCE_MULT_BAND_5	6.0107E-03
	RADIANCE_MULT_BAND_10	3.3420E-04
2022	RADIANCE_MULT_BAND_4	9.8763E-03
	RADIANCE_MULT_BAND_5	6.0532E-03
	RADIANCE_MULT_BAND_10	3.8000E-04
2023	RADIANCE_MULT_BAND_4	9.8487E-03
	RADIANCE_MULT_BAND_5	6.0269E-03
	RADIANCE_MULT_BAND_10	3.3420E-04

Tabel 4. 2 Konstanta faktor penambah dari masing-masing band

TAHUN	RADIANCE_ADD_BAND_x	NILAI
2021	RADIANCE_ADD_BAND_4	-49.11090
	RADIANCE_ADD_BAND_5	-30.05342
	RADIANCE_ADD_BAND_10	0.10000
2022	RADIANCE_ADD_BAND_4	-49.38158
	RADIANCE_ADD_BAND_5	-30.26607
	RADIANCE_ADD_BAND_10	0.10000
2023	RADIANCE_ADD_BAND_4	-49.24344
	RADIANCE_ADD_BAND_5	-30.13453
	RADIANCE_ADD_BAND_10	0.10000

Berdasarkan Tabel 4.1 dan 4.2, perhitungan radian spectral dapat dilakukan dengan menggunakan rumus yang tercantum pada rumus 2.2, yakni dengan mengalikan nilai pada Band 10 dengan konstanta 0,0003342, kemudian menambahkan hasilnya dengan konstanta 0,1000. Selanjutnya, untuk menghitung suhu brightness (TB), digunakan rumus 2.3, yang memerlukan nilai konstanta untuk Band 10 yang telah ditentukan sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Konstanta pada band 10

2021	CONSTANT_BAND_10	NILAI
	K1	774.8853
	K2	1321.0789
2022	CONSTANT_BAND_10	NILAI
	K1	799.0284
	K2	1329.2405
2021	CONSTANT_BAND_10	NILAI
	K1	774.8853
	K2	1321.0789

Berdasarkan Tabel 4.3, perhitungan suhu brightness (Brightness Temperature) dilakukan dengan memasukkan nilai dari Band 10 ke dalam rumus yang telah ditentukan, yaitu rumus: $((1321.0789 / \ln(774.8853 / \text{"Band 10"}) + 1)) - 273$. Proses perhitungan ini menghasilkan suhu dalam satuan Kelvin, yang kemudian dikonversi menjadi suhu permukaan dalam satuan Celcius. Setelah mendapatkan nilai suhu brightness, tahap selanjutnya adalah menghitung nilai

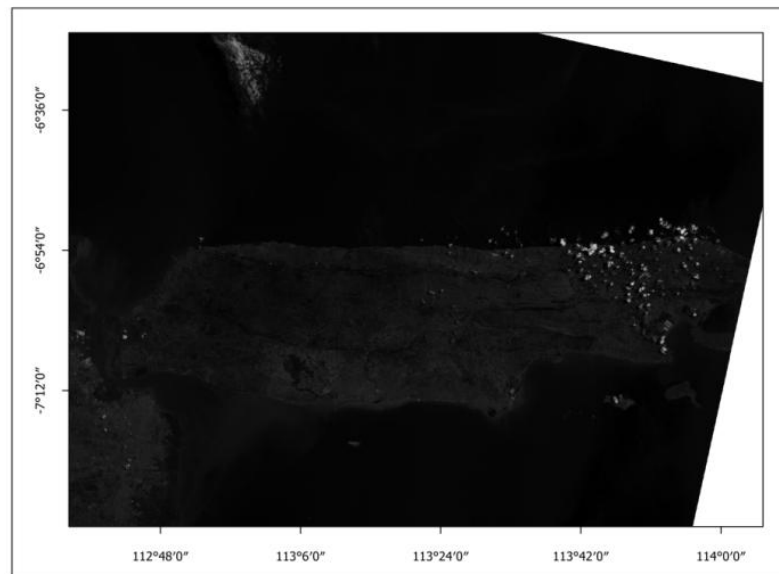
emisivitas, yang diperoleh berdasarkan data yang diambil dari satelit Landsat-8, sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Nilai emisivitas

Emisivitas	Nilai
Emisivitas vegetasi	$0,985 \pm 0,007$

Berdasarkan tabel 4.4, perhitungan suhu permukaan tanah (Land Surface Temperature atau LST) dilakukan dengan memasukkan nilai Brightness Temperature (TB) ke dalam rumus berikut: $TB / \{1 + [(10.8 * TB / 14388) \ln(0.985)]\}$. Rumus ini digunakan untuk mengoreksi suhu brightness yang telah dihitung sebelumnya, dengan memperhitungkan faktor emisivitas dan panjang gelombang, sehingga menghasilkan nilai LST yang lebih representatif terhadap suhu permukaan tanah yang sesungguhnya.

Berikut adalah citra-citra telah yang berhasil diambil di website *USGS*, antara lain:

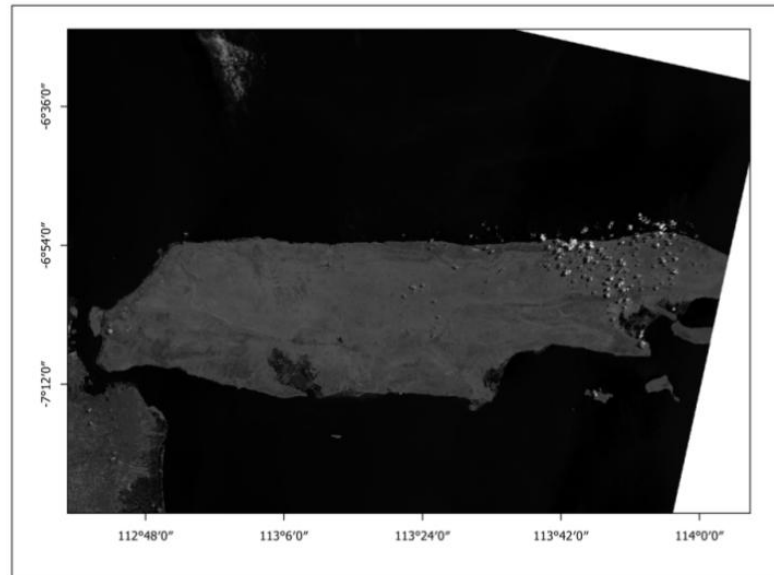


Gambar 4. 1 Citra Band 4 tahun 2021

Gambar 4.1 menampilkan hasil ekstraksi citra satelit menggunakan Band 4 (Near Infrared/NIR) untuk tahun 2021. Citra ini merupakan salah satu komponen penting dalam analisis vegetasi, karena Band 4 sangat sensitif terhadap pantulan cahaya dari vegetasi hijau. Daerah dengan tingkat kehijauan tinggi akan tampak lebih cerah, sedangkan area yang minim vegetasi atau tertutup bangunan dan perairan akan terlihat lebih gelap.

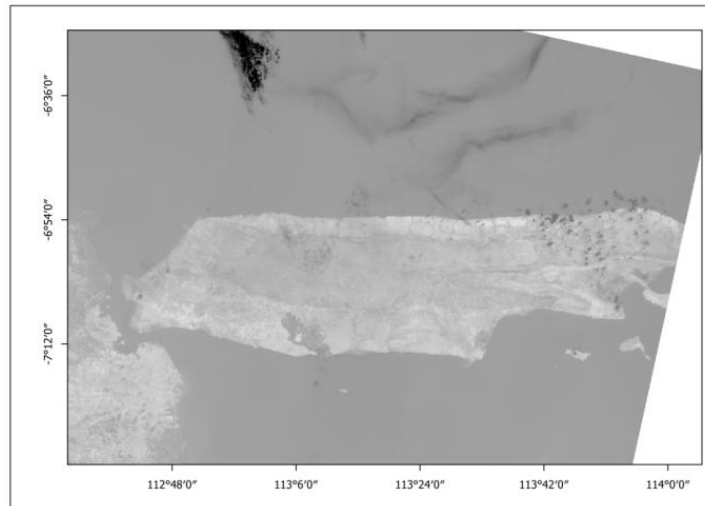
Penggunaan Band 4 sangat berguna dalam perhitungan indeks vegetasi seperti NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), yang menjadi dasar dalam menilai kondisi tutupan lahan dan kesehatan vegetasi di suatu wilayah. Berdasarkan gambar tersebut, dapat diamati perbedaan tingkat reflektansi antara berbagai area, yang mengindikasikan keragaman kondisi tutupan lahan di wilayah studi. Area terang kemungkinan besar merupakan lahan pertanian aktif atau vegetasi alami, sedangkan area gelap cenderung merupakan perairan, permukiman, atau lahan terbuka tanpa vegetasi.

Citra ini diambil dari data satelit Landsat dan telah melalui proses koreksi geometrik dan radiometrik untuk memastikan keakuratan spasial dan spektral dalam analisis selanjutnya.



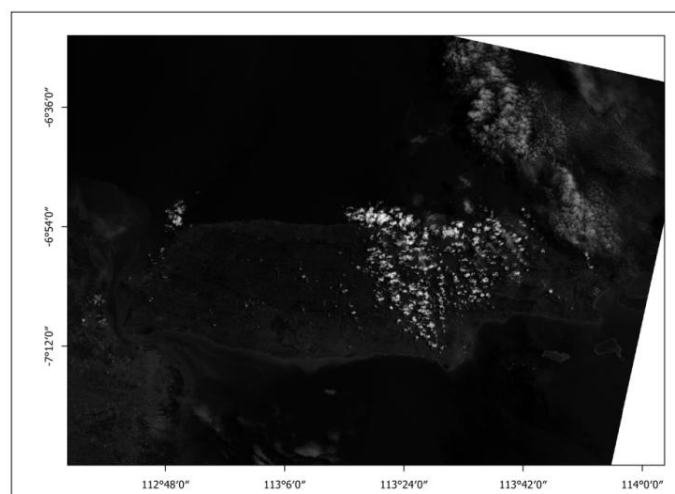
Gambar 4. 2 Citra Band 5 tahun 2021

Gambar 4.2 menampilkan Citra Band 5 (Near Infrared) dari satelit Landsat untuk wilayah studi pada tahun 2021. Band 5 memiliki panjang gelombang inframerah-dekat yang sangat sensitif terhadap kandungan air dalam vegetasi, sehingga umum digunakan untuk analisis pertumbuhan tanaman, kelembaban tanah, dan deteksi vegetasi sehat. Dalam citra ini, area dengan vegetasi sehat cenderung tampak lebih terang, sementara area dengan tutupan lahan yang sedikit atau minim vegetasi terlihat lebih gelap. Analisis ini penting untuk mengamati kondisi lahan pertanian, degradasi vegetasi, atau perubahan penggunaan lahan.



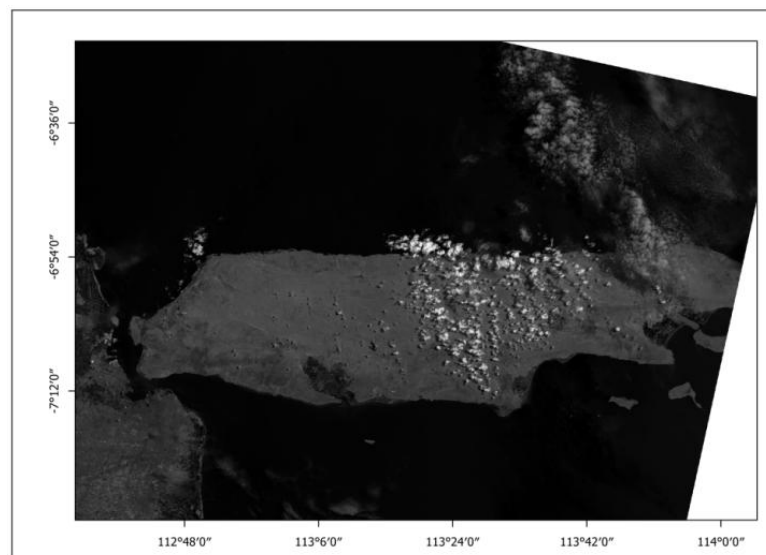
Gambar 4. 3 Citra Band 10 tahun 2021

Gambar 4.3 memperlihatkan Citra Band 10 (Thermal Infrared Sensor/TIRS) dari tahun 2021. Band 10 digunakan untuk mengukur suhu radiasi permukaan (brightness temperature), yang menjadi dasar dalam menghitung Land Surface Temperature (LST). Warna terang menunjukkan area dengan suhu radiasi permukaan yang tinggi, sedangkan warna gelap menunjukkan area yang lebih dingin. Citra ini sangat penting dalam analisis perubahan suhu, pemetaan panas, dan kajian dampak perubahan iklim maupun urbanisasi terhadap suhu permukaan.



Gambar 4. 4 Citra Band 4 tahun 2022

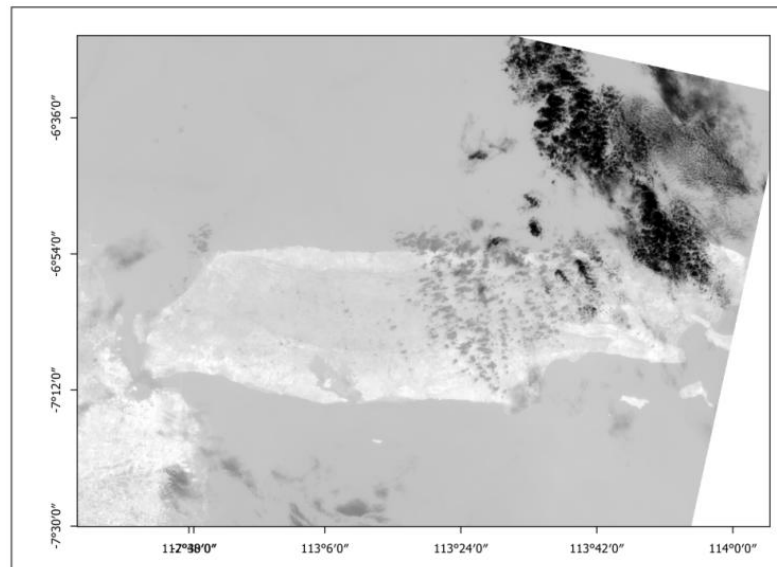
Gambar 4.4 merupakan Band 4 (Red Band) untuk tahun 2022. Band ini berfungsi penting dalam penghitungan indeks vegetasi seperti NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), karena menunjukkan seberapa besar energi cahaya merah yang diserap oleh vegetasi. Daerah dengan vegetasi lebat akan menyerap banyak cahaya merah dan tampak gelap, sedangkan area tanpa vegetasi atau dengan bangunan akan memantulkan lebih banyak cahaya merah dan tampak terang. Perbandingan citra ini dengan tahun sebelumnya dapat digunakan untuk menilai perubahan tutupan vegetasi dari tahun 2021 ke 2022.



Gambar 4. 5 Citra Band 5 tahun 2022

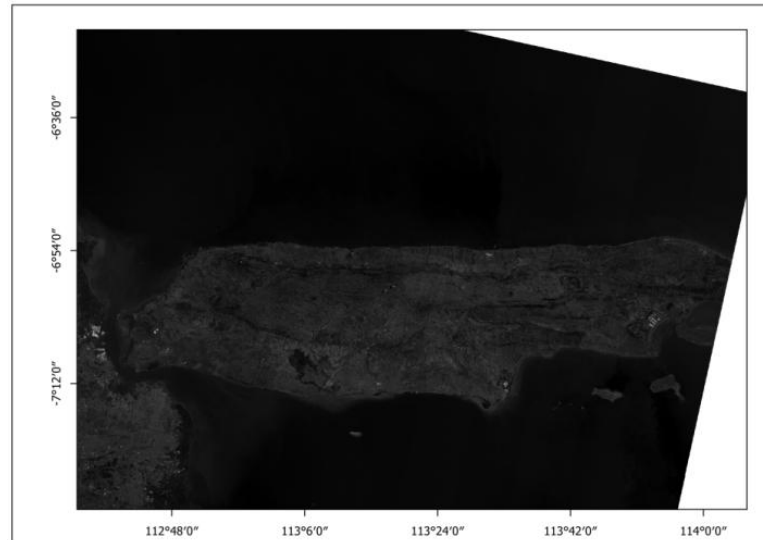
Gambar 4.5 merupakan hasil pemrosesan Citra Band 5 (Near Infrared) dari satelit Landsat untuk wilayah studi tahun 2022. Band ini sangat peka terhadap pantulan inframerah-dekat, sehingga sering digunakan untuk mengidentifikasi kondisi vegetasi. Dalam citra ini, area yang menunjukkan reflektansi tinggi (terlihat terang) mengindikasikan keberadaan vegetasi yang sehat dan padat, sementara area yang gelap menunjukkan lahan yang gersang, terbangun, atau

memiliki kelembapan rendah. Perbandingan dengan tahun sebelumnya dapat digunakan untuk menganalisis dinamika perubahan tutupan vegetasi dan kelembapan tanah.



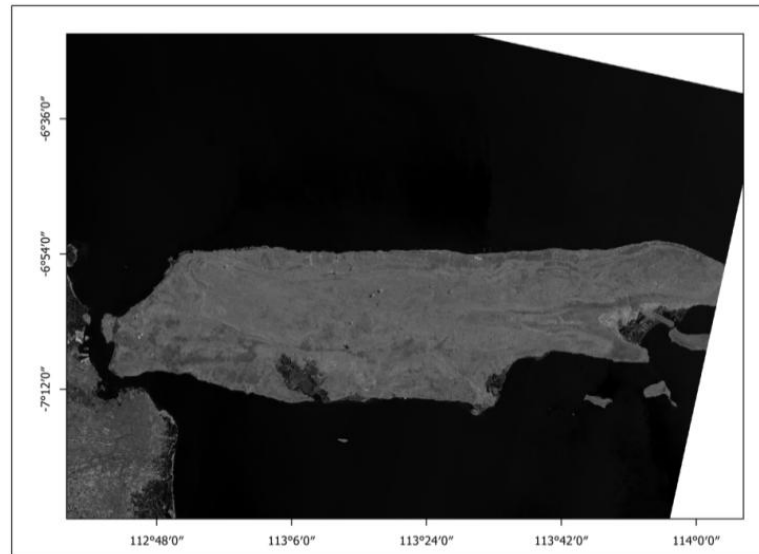
Gambar 4. 6 Citra Band 10 tahun 2022

Gambar 4.6 menunjukkan Citra Band 10 (Thermal Infrared) dari tahun 2022, yang merekam radiasi panas dari permukaan bumi. Band 10 ini digunakan untuk mengukur brightness temperature, yang kemudian digunakan untuk menghitung Land Surface Temperature (LST). Citra ini menggambarkan variasi suhu permukaan, di mana wilayah berwarna terang menunjukkan suhu permukaan yang lebih tinggi, dan warna gelap menunjukkan area yang lebih dingin. Pola suhu ini sangat penting untuk memantau kondisi kekeringan, perubahan iklim mikro, serta dampak aktivitas manusia terhadap suhu lingkungan.



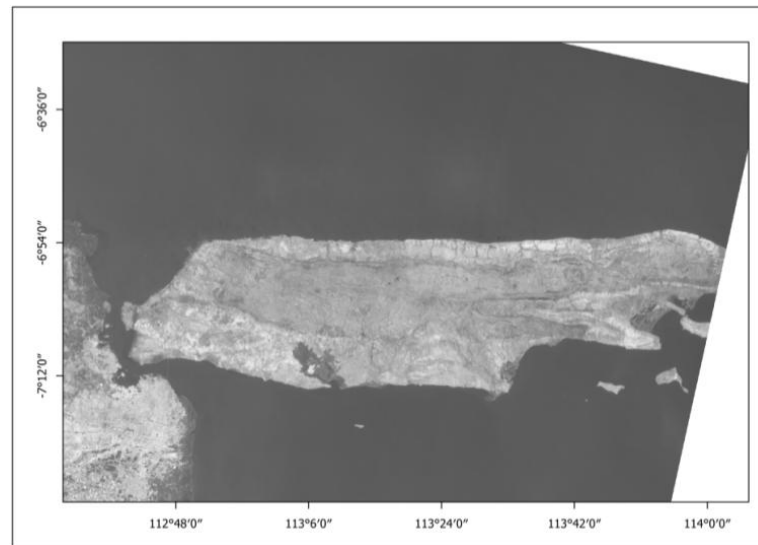
Gambar 4. 7 Citra Band 4 tahun 2023

Gambar 4.7 merupakan Band 4 (Red Band) dari tahun 2023 yang digunakan untuk mendeteksi kandungan klorofil dalam vegetasi melalui pantulan cahaya merah. Band ini sangat bermanfaat untuk menghitung NDVI serta membedakan area vegetasi dari area non-vegetasi. Dalam gambar ini, area yang gelap cenderung memiliki vegetasi lebih padat karena menyerap lebih banyak cahaya merah, sementara area terang mencerminkan permukaan non-vegetasi seperti bangunan, tanah kosong, atau perairan. Dibandingkan tahun-tahun sebelumnya, citra ini dapat menunjukkan perubahan signifikan dalam tutupan lahan dan kondisi vegetasi di wilayah studi.



Gambar 4. 8 Citra Band 5 tahun 2023

Gambar 4.8 merupakan hasil pemrosesan Citra Band 5 (Near Infrared/NIR) dari satelit Landsat untuk tahun 2023. Band ini sangat sensitif terhadap kandungan air dan struktur daun pada vegetasi, sehingga area dengan vegetasi sehat akan tampak terang karena tingkat pantulannya tinggi. Sebaliknya, wilayah yang lebih gelap mengindikasikan sedikit atau tidak adanya vegetasi, seperti permukiman, tanah kosong, atau lahan kering. Citra ini sangat berguna untuk mendeteksi perubahan kondisi vegetasi, terutama dalam konteks fenomena kekeringan yang dikaji dalam penelitian ini.



Gambar 4. 9 Citra Band 10 tahun 2023

Gambar 4.9 menampilkan Citra Band 10 (Thermal Infrared Sensor) yang digunakan untuk memperoleh data suhu radiasi permukaan atau brightness temperature. Citra ini berperan penting dalam proses perhitungan suhu permukaan tanah (LST) yang dapat mencerminkan tingkat panas yang tersimpan di permukaan bumi. Warna terang menunjukkan wilayah dengan suhu permukaan yang tinggi, sedangkan warna gelap menunjukkan area yang lebih sejuk. Dengan demikian, citra ini menjadi dasar untuk analisis dampak kekeringan atau perubahan iklim lokal di wilayah studi akibat fenomena seperti El-Nino.

4.2 Analisis Indeks Vegetasi (NDVI)

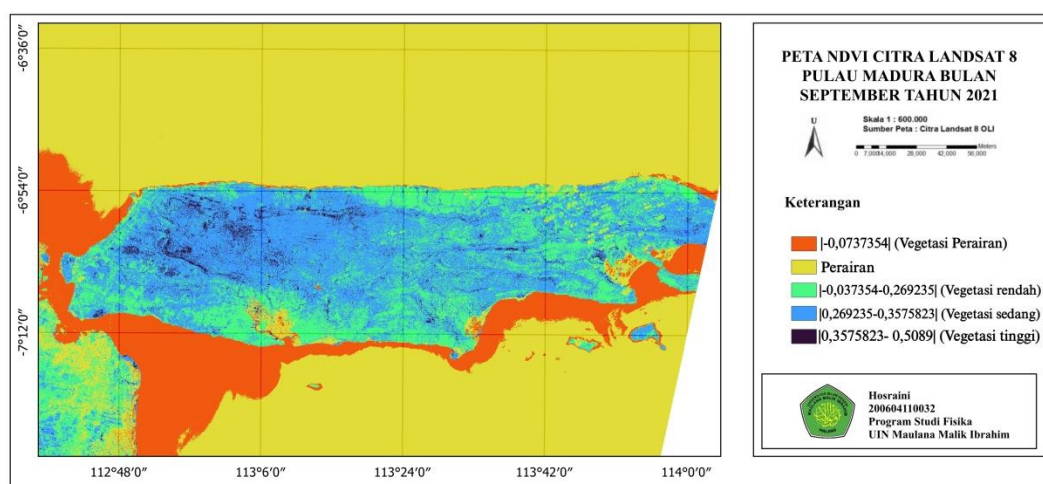
Transformasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui hubungannya terhadap adanya kekeringan akibat fenomena El-Nino. Asumsi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah bahwa obyek vegetasi merupakan obyek dengan kapasitas peresapan air yang tinggi, sementara obyek selain vegetasi merupakan obyek yang

kedap air. Sehingga dapat diasumsikan apabila nilai NDVI tinggi maka menunjukkan daerah dengan kerapatan vegetasi yang tinggi dan mempunyai kemampuan menyerap air yang tinggi. Maka sebaliknya apabila nilai NDVI rendah akan menunjukkan daerah dengan kerapatan vegetasi yang rendah, serta kemampuan penyerapan air yang rendah dan akan diasumsikan sebagai daerah yang teridentifikasi mengalami kekeringan (Kurnia, K.D, Sunaryo, D.K, & Noraini. A, 2019).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Fathoni (2015), transformasi NDVI pada dasarnya adalah sebuah indeks vegetasi yang memanfaatkan indikator numerik yang mengkombinasikan dua bagian dari spektrum elektromagnetik, yaitu spektrum tampak dan inframerah dekat. Indeks ini didasarkan pada karakteristik pantulan spektral dari vegetasi, di mana NDVI dihitung menggunakan saluran-saluran dalam spektrum elektromagnetik yang paling sensitif terhadap keberadaan vegetasi, khususnya saluran inframerah dekat dan saluran merah. Pada data citra satelit Landsat 8, saluran inframerah dekat terletak pada band 5, sementara saluran merah terdapat pada band 4. Semakin besar perbedaan nilai pantulan antara spektrum inframerah dekat dan saluran merah, maka semakin jelas dan besar pula tutupan vegetasi produktif yang dapat diidentifikasi di suatu wilayah. Transformasi NDVI menghasilkan nilai yang berkisar antara -1 hingga +1, di mana nilai NDVI yang negatif (-) menunjukkan nilai yang rendah dan mengindikasikan adanya objek-objek non-vegetasi seperti air, tanah kosong, bangunan, serta awan. Sebaliknya, nilai NDVI yang positif (+) menunjukkan keberadaan vegetasi, dengan nilai yang lebih tinggi mengindikasikan tingkat kerapatan dan produktivitas vegetasi yang lebih besar.

Oleh karena itu, NDVI menjadi alat yang sangat penting dalam pemantauan kondisi vegetasi dan analisis perubahan tutupan lahan di berbagai wilayah, seperti yang diungkapkan oleh Fathoni (2015).

Pada penelitian ini transformasi NDVI dilakukan pada citra Landsat-8 untuk data olah bulan September tahun 2021, 2022 dan 2023. Berikut ini hasil yang menunjukkan indeks vegetasi pada gambar berikut:



Gambar 4. 10 Peta NDVI Pulau Madura bulan September Tahun 2021

Berdasarkan data kalkulasi nilai index vegetasi (*NDVI*) di Pulau Madura pada bulan September 2021 memiliki rentang nilai antara -0,0737354 sampai 0,5089. Semakin rendah nilai NDVI maka tingkat kerawannya pada kekeringan akan semakin tinggi dan apabila nilai NDVI nya semakin tinggi hal ini akan menunjukkan tingkat kerawanan pada kekeringan akan semakin rendah. Dapat dilihat pada gambar 4.10 terdapat beberapa warna yaitu warna piksel jingga mempresentasikan adanya vegetasi perairan. Warna piksel kuning mempresentasikan perairan dan pada warna piksel hijau mempresentasikan vegetasi yang rendah, dalam visualisasi NDVI menunjukkan area dengan vegetasi yang

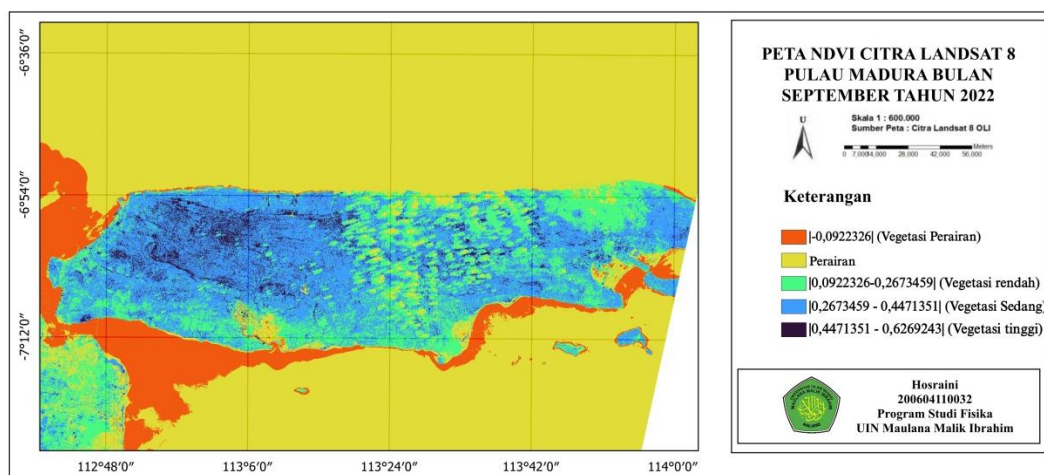
ada, namun cakupan atau kepadatannya rendah. NDVI yang sedang dapat menghasilkan warna hijau ini, menunjukkan vegetasi yang hadir tetapi mungkin tidak cukup untuk memberikan kondisi tanah yang sangat hijau dan subur. Area dengan warna hijau ini mungkin menunjukkan tanah yang bisa mengalami kerentanan terhadap kekeringan jika kondisi cuaca menjadi ekstrim. Warna piksel biru langit merepresentasikan vegetasi yang sedang Area dengan warna ini menunjukkan potensi untuk mempertahankan kondisi vegetasi yang sehat dan memiliki tingkat kerentanan yang lebih rendah terhadap kekeringan dibandingkan dengan warna-warna sebelumnya. Warna hitam merepresentasikan vegetasi yang sangat tinggi, pada area ini menunjukkan vegetasi yang sangat baik, padat, dan subur. (Veri Pramesto, Abdi Sukmono, & Andri Suprayogi, 2019)

Tabel 4. 5 Nilai luasan NDVI bulan September tahun 2021

NDVI	Luasan(km^2)	keterangan
-0,0737354	65,03	Vegetasi Perairan
-0,0737354- 0,269235	1763,42	Vegetasi rendah
0,269235- 0,3575823	2546,16	Vegetasi sedang
0,3575823- 0,5089	793,72	Vegetasi tinggi
total	5.168,33	

Berdasarkan tabel yang diamati, persebaran NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) pada tahun 2021 menunjukkan variasi yang dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori luasan. Kategori pertama adalah area tanpa vegetasi, yang memiliki nilai NDVI sebesar |-0,0737354| dengan luasan

vegetasi sekitar 65,03 km². Selanjutnya, kategori vegetasi rendah dengan nilai NDVI berkisar antara $[-0,0737354 \text{ hingga } 0,269235]$ mencakup luas area sebesar 1763,42 km². Kategori vegetasi sedang memiliki nilai NDVI antara $[0,269235 \text{ hingga } 0,3575823]$ dengan luas area yang lebih besar, yaitu sekitar 2546,16 km². Terakhir, kategori vegetasi tinggi, dengan nilai NDVI antara $[0,3575823 \text{ hingga } 0,5089]$, memiliki luasan sekitar 793,72 km². Data ini menunjukkan bahwa persebaran NDVI di tahun 2021 mencakup area yang cukup luas, dengan mayoritas wilayah berada pada kategori vegetasi sedang.



Gambar 4. 11 Peta NDVI Pulau Madura bulan September tahun 2022

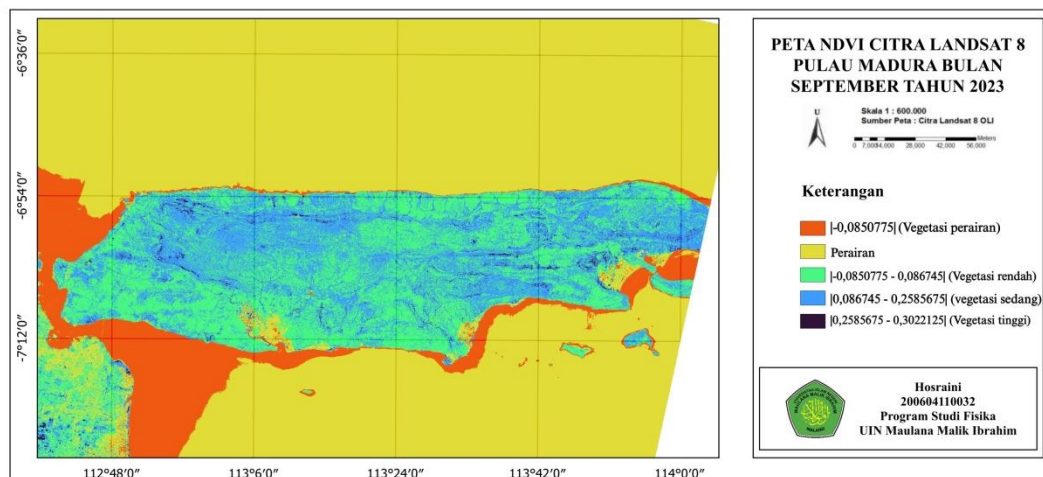
Nilai index vegetasi (*NDVI*) di Pulau Madura pada bulan September tahun 2022 memiliki rentang nilai antara -0,0922326 sampai 0,6269243. Dapat dilihat pada gambar 4.11 terdapat beberapa warna yaitu warna piksel jingga mempresentasikan adanya vegetasi perairan. Warna piksel kuning mempresentasikan perairan dan pada warna piksel biru langit mempresentasikan vegetasi yang sedang dan warna hitam mempresentasikan vegetasi yang sangat

tinggi. Ini menandakan bahwasanya tingkat kerawanan terhadap kekeringan tergolong rendah (Veri Pramesto, Abdi Sukmono, & Andri Suprayogi, 2019)

Tabel 4. 6 Nilai luasan NDVI bulan September tahun 2022

NDVI	Luasan(km^2)	keterangan
-0,0922326	125,54	Vegetasi Perairan
-0,0922326-0,2673459	1575,98	Vegetasi rendah
0,2673459- 0,4471351	2297,16	Vegetasi sedang
0,4471351 - 0,6269243	1169,65	Vegetasi tinggi
Total	5.168,33	

Berdasarkan tabel yang diamati, persebaran NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) pada tahun 2022 menunjukkan variasi yang dapat diidentifikasi berdasarkan luasannya. Kategori pertama adalah area tanpa vegetasi, dengan nilai NDVI sebesar $|-0,0922326|$ yang mencakup luas sekitar 125,54 km^2 . Kategori kedua adalah vegetasi rendah, dengan nilai NDVI berkisar antara $|-0,0922326$ hingga $0,2673459|$, yang meliputi luas area sebesar 1575 km^2 . Pada kategori vegetasi sedang, dengan nilai NDVI antara $|0,2673459$ hingga $0,4471351|$, tercatat luas area sebesar 2297,16 km^2 . Terakhir, kategori vegetasi tinggi, dengan nilai NDVI antara $|0,4471351$ hingga $0,6269243|$, memiliki luasan sekitar 1169,65 km^2 . Berdasarkan data tersebut, persebaran NDVI di tahun 2022 menunjukkan area yang cukup luas dengan mayoritas wilayah tergolong dalam kategori vegetasi tinggi



Gambar 4. 12 Peta NDVI Pulau Madura bulan September tahun 2023

Dan nilai index vegetasi (*NDVI*) di Pulau Madura pada bulan September 2023 memiliki rentang nilai antara -0,0850775 sampai 0,3022125. Dapat dilihat pada gambar 4.12 terdapat beberapa warna yaitu warna piksel jingga mempresentasikan adanya vegetasi perairan. Warna piksel kuning mempresentasikan perairan dan pada warna piksel hijau mempresentasikan vegetasi yang rendah, warna piksel biru langit mempresentasikan vegetasi yang sedang dan warna hitam mempresentasikan vegetasi yang sangat tinggi.

Tabel 4. 7 Nilai luasan NDVI bulan September tahun 2023

NDVI	Luasan (km^2)	keterangan
-0,0850775	34,88	Vegetasi Perairan
-0,0850775-0,086745	3428,95	Vegetasi rendah
0,086745- 0,2585675	1436,04	Vegetasi sedang
0,2585675– 0,3022125	268,46	Vegetasi tinggi
total	5.168,33	

Berdasarkan tabel yang diamati, persebaran NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) pada tahun 2023 menunjukkan variasi yang signifikan berdasarkan kategori luasannya. Kategori pertama mencakup area tanpa vegetasi, dengan nilai NDVI sebesar $|-0,0850775|$ yang memiliki luas sekitar 34,88 km². Selanjutnya, pada kategori vegetasi rendah, nilai NDVI berkisar antara $|-0,0850775|$ hingga $0,086745|$, meliputi area seluas 3428,95 km². Kategori vegetasi sedang memiliki nilai NDVI antara $0,086745$ hingga $0,2585675|$ dengan luasan sekitar 1436,04 km². Terakhir, kategori vegetasi tinggi, dengan nilai NDVI berkisar antara $0,2585675$ hingga $0,3022125|$, mencakup luas area sekitar 268,46 km². Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa pada tahun 2023, persebaran NDVI didominasi oleh area yang masuk dalam kategori vegetasi rendah, dengan cakupan yang cukup luas di berbagai wilayah.

Dari tiga peta tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa Pada tahun 2021 dilihat dari warna-warna yang mempresentasikan vegetasi tersebut terdapat banyak yang masih bervegetasi tinggi dengan rentang nilai sebesar $-0,0737354$ sampai $0,5089$ dimana tingkat kekeringan pada tahun 2021 ini termasuk rendah. Pada tahun 2022 dilihat dari warna-warna yang mempresentasikan adanya vegetasi tersebut terdapat banyak yang masih bervegetasi sangat tinggi dengan rentang nilai sebesar $-0,0922326$ sampai $0,6269243$ sehingga tingkat kerawanan terhadap kekeringan sangatlah rendah. Dan Pada tahun 2023 terjadi penurunan yang signifikan dalam vegetasi dibandingkan dengan tahun 2021 dan 2022 di Pulau Madura. Data menunjukkan bahwa vegetasi rendah secara dominan lebih banyak daripada vegetasi tinggi, bahkan vegetasi tinggi hanya sedikit yang tersisa. Kondisi ini mengindikasikan bahwa area tersebut mengalami penurunan dalam

penutupan vegetasi yang sehat dan subur seperti yang dijelaskan oleh Kurnia, Sunaryo dan Noraini, 2019 jika nilai NDVI rendah akan menunjukkan daerah dengan kerapatan vegetasi yang rendah, serta kemampuan penyerapan air yang rendah dan akan diasumsikan sebagai daerah yang teridentifikasi mengalami kekeringan (Kurnia, K.D, Sunaryo, D.K, & Noraini. A, 2019).

Tabel 4. 8 Estimasi NDVI

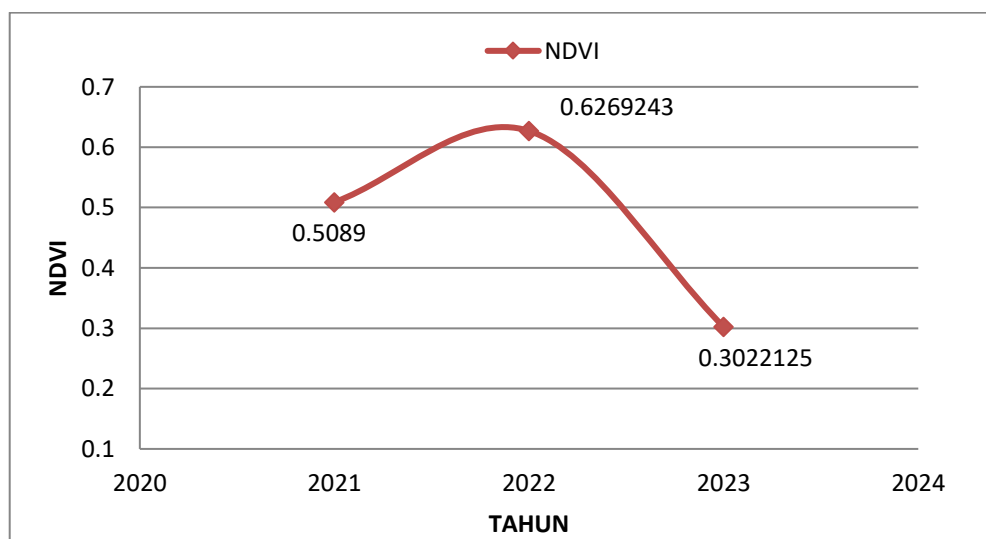
Tahun	NDVI Min	NDVI Max	NDVI Avg
2021	-0,0737354	0,5089	0,2175823
2022	-0,0922326	0,6269243	0,26734585
2023	-0,0850775	0,3022125	0,1085675

Pada tabel diatas dapat dilihat perbandingan kerapatan vegetasi dipulau Madura pada bulan September tahun 2021, 2022 dan 2023. Berdasarkan hasil pengolahan NDVI pada ketiga tahun didapatkan rerata vegetasi paling tinggi terdapat pada bulan September tahun 2022 dengan nilai 0,26734585 dengan nilai maksimumnya sebesar 0,6269243. Nilai NDVI yang tinggi disebabkan oleh pantulan gelombang dari band 5 lebih tinggi dari pada pantulan gelombang dari band 4, karena pada band 4 gelombang elektromagnetiknya terserap dalam pigmen-pigmen tanaman (Jamil, Tjacjono, & Parman, 2013). Hal ini menandakan bahwasanya pada bulan September tahun 2022 tingkat kerawanan terhadap kekeringan sangatlah rendah. Dan vegetasi paling rendah berada pada tahun 2023 dengan nilai maksimumnya sebesar 0,3022125 dengan rerata vegetasinya sebesar 0,1085675. Nilai NDVI yang rendah disebabkan oleh pantulan gelombang dari

band 4 lebih tinggi dari pada pantulan gelombang dari band 5. Hal ini menandakan bahwasanya pada bulan September tahun 2023 tingkat kerawanan terhadap kekeringan akan semakin tinggi.

Adanya perbedaan nilai dari NDVI setiap tahun ini tentunya dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pengaruh temperature yang menjadikan udara lebih hangat cenderung meningkatkan penguapan air yang dapat menyebabkan kekeringan sehingga dapat mengurangi nilai NDVI. Berdasarkan tampilan pada citranya terlihat bahwa kelas klasifikasi NDVI yang memiliki tingkat kerapatan tinggi pada tahun 2022. Hasil pengolahan NDVI tahun 2020, 2022 dan 2023 dapat dilihat pada Gambar 4.10, 4.11, 4.12 terlihat pada tahun 2022 yang mendominasi tingkat kerapatan vegetasi dengan jumlah 0,6269243.

Bisa diperhatikan pada grafik dibawah ini perbandingan kerapatan vegetasi yang terjadi di Pulau Madura pada bulan September tahun 2021, 2022, dan 2023 :



Gambar 4. 13 Grafik perbandingan kerapatan NDVI tahun 2021,2022 dan 2023

Dari gambar tersebut, terlihat jelas bahwa terjadi penurunan vegetasi yang cukup drastis pada 2023. Penurunan ini menunjukkan tren yang

mengkhawatirkan, di mana vegetasi yang berkurang secara signifikan dapat menjadi indikator kuat bahwa pada tahun 2023 terjadi kekeringan yang parah akibat fenomena El Niño. Kondisi vegetasi yang semakin rendah dari tahun ke tahun mengindikasikan bahwa daerah tersebut mengalami tekanan lingkungan yang meningkat, yang disebabkan oleh perubahan iklim dan variabilitas cuaca ekstrem. El Niño, yang dikenal dengan dampaknya terhadap pola curah hujan dan suhu global, dapat memperburuk kondisi ini dengan mengurangi curah hujan yang sangat dibutuhkan untuk mempertahankan kesehatan vegetasi. Efek dari fenomena El-Nino adalah peningkatan suhu dan penurunan curah hujan yang drastis di wilayah tertentu. Selama periode El Nino, suhu permukaan laut di Samudra Pasifik bagian tengah dan timur meningkat, yang kemudian mempengaruhi pola cuaca global, termasuk mengurangi curah hujan di wilayah tropis seperti Madura. Kekurangan curah hujan ini mengakibatkan musim kemarau yang lebih panjang dan lebih intens di Pulau Madura, yang pada gilirannya memperburuk kondisi kekeringan di Paulau ini. Sementara itu terjadi pengurangan vegetasi akibat kekeringan, efek pendinginan alami yang biasanya disediakan oleh vegetasi juga berkurang. Akibatnya, vegetasi yang menurun drastis ini tidak hanya mencerminkan kondisi kekeringan yang lebih parah tetapi juga meningkatkan risiko degradasi lahan dan kerugian ekosistem, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi kehidupan dan mata pencaharian masyarakat yang bergantung pada sumber daya alam tersebut. Dengan demikian, penurunan vegetasi yang signifikan ini menjadi sinyal peringatan yang kuat akan perlunya tindakan mitigasi dan adaptasi segera untuk menghadapi dampak potensial dari El Niño di tahun 2023.

Hasil observasi serta pengecekan lapangan yang dilakukan di berbagai titik dengan mengacu pada warna vegetasi yang ditunjukkan pada tahun 2023 memperlihatkan bahwa kondisi vegetasi pada bulan September tahun 2024 tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dibandingkan dengan kondisi vegetasi pada tahun 2023. Temuan ini memberikan indikasi bahwa meskipun kekeringan parah yang dipicu oleh fenomena El Niño terjadi pada tahun 2023, dampaknya tampaknya tidak semakin memburuk pada tahun berikutnya. Stabilitas vegetasi ini dapat dihubungkan dengan beberapa faktor, termasuk adanya perubahan pola cuaca yang sedikit lebih baik atau adaptasi alami dari ekosistem setempat yang mungkin terjadi sebagai respons terhadap tekanan kekeringan pada tahun sebelumnya. Meskipun demikian, stabilitas ini tidak mengurangi pentingnya tindakan mitigasi dan adaptasi yang berkelanjutan, mengingat perubahan pola vegetasi yang terjadi dapat menjadi sinyal penting bagi keberlanjutan ekosistem dan kesejahteraan masyarakat yang bergantung pada sumber daya alam tersebut.

4.3 Analisis Land Surface Temperatur (LST)

Suhu Permukaan Tanah (LST) merupakan parameter fisik penting yang digunakan dalam deskripsi proses lingkungan, meteorologi, dan biologi. Jika data tersebut dapat diperkirakan secara akurat dari data satelit, maka data tersebut berpotensi berharga dalam pemodelan dan prediksi studi skala kecil hingga proses skala sinoptik, seperti dalam memahami dinamika iklim, memonitor perubahan iklim, mempelajari interaksi antara atmosfer dan biosfer, dan memperkirakan risiko bencana alam (Rusrana,2019).

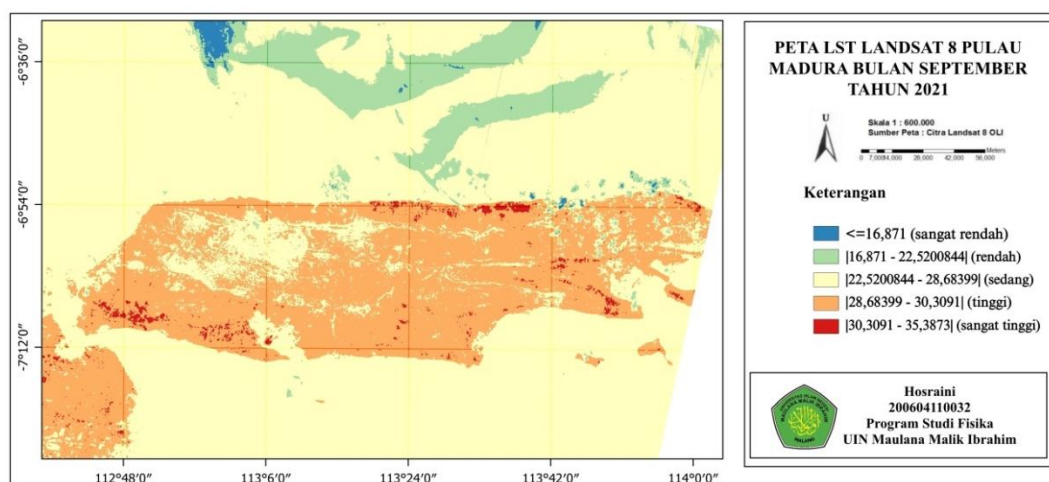
Peta sebaran suhu permukaan tanah merupakan hasil pengolahan citra satelit sehingga menghasilkan beberapa warna berbeda yang menggambarkan

suatu besaran suhu tertentu. Setiap objek yang berada di permukaan bumi memiliki panas masing-masing. Besarnya tenaga yang diradiasikan oleh suatu objek merupakan fungsi dari suhu permukaan objek tersebut, sebagaimana dinyatakan oleh Lillesand et al. (1990). Sesuai dengan hukum Stefan-Boltzmann, dapat disimpulkan bahwa pengukuran jumlah tenaga yang dipancarkan oleh permukaan suatu objek dapat digunakan untuk memperkirakan suhu permukaan objek tersebut. Menurut hukum pergeseran Wien, pancaran radiasi maksimum dari permukaan bumi, yang memiliki suhu rata-rata sekitar 300°K (27°C), terjadi pada panjang gelombang sekitar $9,7\text{ }\mu\text{m}$ dalam spektrum inframerah. Dalam konteks resolusi spasial citra penginderaan jauh, suhu permukaan dapat didefinisikan sebagai rerata suhu permukaan lahan pada skala percampuran piksel, di mana setiap piksel mungkin mencakup fraksi yang berbeda dari berbagai tipe permukaan (Yang, 2000 dalam Wisnaya, 2008).

Suhu permukaan tanah (Land Surface Temperature atau LST) dapat diekstrak dari nilai radian yang terdapat pada citra satelit saluran termal. Dalam penelitian ini, nilai data citra asli yang direpresentasikan sebagai Digital Number (DN) dikonversi menjadi nilai radian Top of Atmosphere (TOA). Proses konversi ini dilakukan dengan memanfaatkan nilai radian maksimum dan minimum yang ada pada data Landsat 8. Langkah pertama adalah mengonversi DN menjadi nilai radian, yang kemudian digunakan untuk mengestimasi suhu permukaan atau LST. Konversi dari nilai radian ke suhu permukaan ini memerlukan pertimbangan emisivitas objek, yang merupakan rasio antara pancaran dari suatu objek dengan pancaran dari benda hitam pada suhu yang sama. Emisivitas sangat penting dalam proses ini karena mempengaruhi akurasi estimasi suhu permukaan. Emisivitas

yang berbeda-beda untuk berbagai jenis permukaan dapat menyebabkan variasi dalam nilai suhu yang dihitung. Pada objek tertentu, suhu radiasi yang terekam oleh citra penginderaan jauh akan lebih kecil dari pada suhu kinetiknya. Dengan demikian, untuk mendapatkan estimasi yang akurat dari suhu permukaan tanah, penting untuk memperhitungkan emisivitas spesifik dari setiap jenis permukaan yang akan dianalisis (Fathoni, 2015).

Data yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah data citra landsat pada bulan September tahun 2021, 2022 dan 2023. Data citra tersebut kemudian dilakukan pengolahan sehingga didapat suhu permukaan tanah pada bulan September 2021, 2022 dan 2023. Sebaran suhu yang telah diolah kemudian dilakukan analisis mengenai pengaruhnya terhadap kekeringan. Berikut merupakan hasil sebaran suhu permukaan pada bulan September 2021 yang dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Peta LST Pulau Madura bulan September tahun 2021

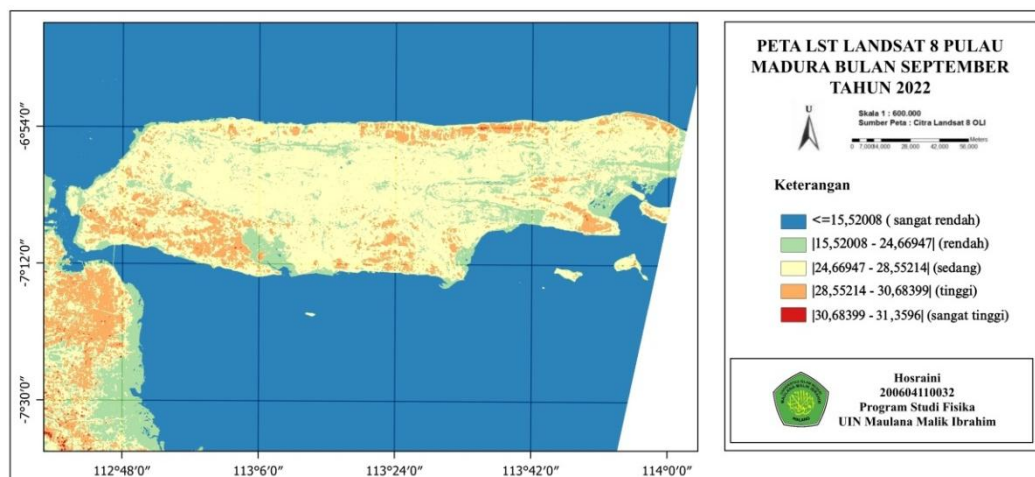
Pada peta LST di Pulau Madura bulan September tahun 2021, tergambar variasi suhu permukaan tanah (LST) yang mencapai rentang antara 16,871 °C

hingga 35,3873°C. Legenda peta, variasi suhu LST ini direpresentasikan dalam beberapa kisaran . Pada wilayah dengan suhu LST 16,87°C digambarkan dengan warna piksel biru yang mempresentasikan kisaran suhu yang sangat rendah, sedangkan kisaran suhu LST $|16,871 - 22,5200844|$ °C digambarkan dengan warna piksel hijau yang mempresentasikan kisaran suhu yang rendah. Wilayah dengan suhu LST $|22,5200844- 28,68399|$ °C digambarkan dengan warna piksel kuning yang mempresentasikan kisaran suhu yang sedang, sedangkan kisaran suhu LST $|28,68399 - 30,3091|$ °C digambarkan dengan warnaa piksel jingga yang mempresentasikan kisaran suhu yang tinggi dan wilayah dengan suhu LST $|30,3091- 35,3873|$ °C digambarkan dengan warna piksel merah yang mempresentasikan kisaran suhu yang sangat tinggi. Peta ini memberikan informasi yang jelas mengenai pola distribusi suhu LST di Pulau Madura bulan September tahun 2021, dengan perbedaan yang signifikan.

Tabel 4. 9 Nilai luasan LST bulan September tahun 2021

LST	Luasan (km^2)	keterangan
$\leq 16,871$	52,31	Sangat Rendah
$ 16,871 - 22,5200844 $	183,13	Rendah
$ 22,5200844- 28,68399 $	733,32	Sedang
$ 28,68399 - 30,3091 $	3892,02	Tinggi
$ 30,3091- 35,3873 $	307,55	Sangat Tinggi
total	5.168,33	

Berdasarkan hasil analisis terhadap tabel persebaran Land Surface Temperature (LST) pada tahun 2021, diketahui adanya variasi yang signifikan dalam kategori suhu permukaan tanah berdasarkan luasannya. Kategori pertama mencakup wilayah dengan suhu permukaan yang tergolong rendah, dengan nilai LST sebesar $16,871^{\circ}\text{C}$ dan luas area sekitar $52,31 \text{ km}^2$. Kemudian, wilayah dengan suhu permukaan rendah memiliki nilai LST yang berkisar antara $16,871^{\circ}\text{C}$ hingga $22,5200844^{\circ}\text{C}$, mencakup area seluas $183,13 \text{ km}^2$. Pada kategori suhu sedang, nilai LST berada dalam rentang $22,5200844^{\circ}\text{C}$ hingga $28,68399^{\circ}\text{C}$, yang meliputi wilayah dengan cakupan luas sebesar $733,32 \text{ km}^2$. Selanjutnya, pada kategori suhu tinggi, nilai LST berkisar antara $28,68399^{\circ}\text{C}$ hingga $30,3091^{\circ}\text{C}$ dengan luas wilayah sebesar $3892,02 \text{ km}^2$. Terakhir, kategori suhu yang sangat tinggi menunjukkan nilai LST antara $30,3091^{\circ}\text{C}$ hingga $35,3873^{\circ}\text{C}$, dengan cakupan wilayah seluas $307,55 \text{ km}^2$. Berdasarkan distribusi luas wilayah yang dikelompokkan berdasarkan kategori nilai LST, dapat disimpulkan bahwa suhu permukaan tanah pada tahun 2021 cenderung berada pada kategori yang cukup panas. Meskipun demikian, suhu yang tergolong tinggi ini tidak menyebabkan kondisi kekeringan yang signifikan yang umumnya disebabkan oleh fenomena el-nino.



Gambar 4. 15 Peta LST Pulau Madura bulan September tahun 2022

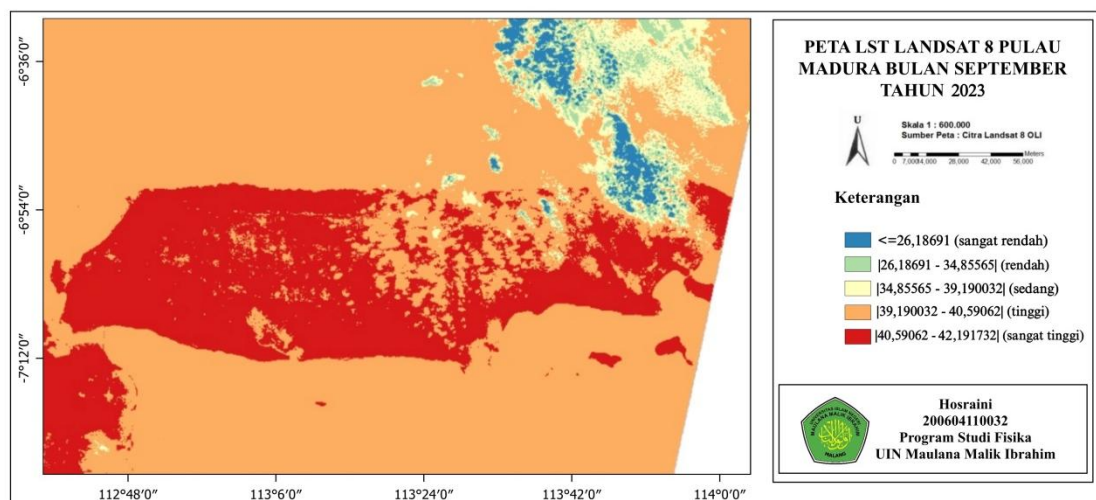
Pada peta LST di Pulau Madura bulan September tahun 2022, tergambar variasi suhu permukaan tanah (LST) yang mencapai rentang antara 15,52008°C hingga 33,3596°C. Legenda peta, variasi suhu LST ini direpresentasikan dalam beberapa kisaran. Pada wilayah dengan suhu LST 15,52008°C digambarkan dengan warna piksel biru yang mempresentasikan kisaran suhu yang sangat rendah, sedangkan kisaran suhu LST $|15,52008 - 24,66947|$ °C digambarkan dengan warna piksel hijau yang mempresentasikan kisaran suhu yang rendah. Wilayah dengan suhu LST $|24,66947 - 28,55214|$ °C digambarkan dengan warna piksel kuning yang mempresentasikan kisaran suhu yang sedang, sedangkan kisaran suhu LST $|28,55214 - 30,68399|$ °C digambarkan dengan warnaa piksel jingga muda yang mempresentasikan kisaran suhu yang tinggi dan wilayah dengan suhu LST $|30,68399 - 31,3596|$ °C digambarkan dengan warna piksel jingga tua yang mempresentasikan kisaran suhu yang sangat tinggi. Legenda peta, Peta ini memberikan informasi yang jelas mengenai pola distribusi suhu LST di Pulau Madura bulan September tahun 2022, dengan perbedaan yang signifikan.

Tabel 4. 10 Nilai luasan LST bulan September tahun 2022

LST	Luasan (km^2)	Keterangan
$\leq 15,52008$	9,01	Sangat Rendah
$ 15,52008 - 24,66947 $	331,06	Rendah
$ 24,66947 - 28,55214 $	4001,20	Sedang
$ 28,55214 - 30,68399 $	792,01	Tinggi
$ 30,68399 - 31,3596 $	35,05	Sangat Tinggi
total	5.168,33	

Berdasarkan hasil analisis terhadap tabel persebaran Land Surface Temperature (LST) pada tahun 2022, ditemukan adanya variasi yang signifikan dalam kategori suhu permukaan tanah berdasarkan luasannya. Kategori pertama mencakup wilayah dengan suhu permukaan yang tergolong rendah, dengan nilai LST sebesar $15,52008^{\circ}C$ dan luas area sekitar $9,01 km^2$. Selanjutnya, wilayah dengan suhu permukaan rendah memiliki nilai LST yang berkisar antara $15,52008^{\circ}C$ hingga $24,66947^{\circ}C$, mencakup area seluas $331,06 km^2$. Pada kategori suhu sedang, nilai LST berada dalam rentang $24,66947^{\circ}C$ hingga $28,55214^{\circ}C$, yang meliputi wilayah dengan cakupan luas sebesar $4001,20 km^2$. Kemudian, pada kategori suhu tinggi, nilai LST berkisar antara $28,55214^{\circ}C$ hingga $30,68399^{\circ}C$, dengan luas wilayah mencapai $792,01 km^2$. Terakhir, kategori suhu sangat tinggi menunjukkan nilai LST antara $30,68399^{\circ}C$ hingga $31,3596^{\circ}C$, yang mencakup wilayah dengan luas sekitar $35,05 km^2$. Berdasarkan distribusi luas wilayah yang dikelompokkan berdasarkan kategori nilai LST tersebut, dapat

disimpulkan bahwa suhu permukaan tanah pada tahun 2022 cenderung berada pada kategori suhu yang relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada tahun tersebut, tidak terjadi kondisi panas ekstrem yang biasanya dikaitkan dengan fenomena El Niño. Dengan suhu permukaan tanah yang cenderung lebih rendah dan distribusi yang lebih luas pada kategori suhu rendah, hal ini menjadi indikasi bahwa pada tahun 2022, kondisi iklim lebih stabil dan tidak menunjukkan tanda-tanda adanya peningkatan suhu yang signifikan atau anomali cuaca seperti yang biasa terjadi selama fenomena el-nino.



Gambar 4. 16 Peta LST Pulau Madura bulan September tahun 2023

Pada peta LST di Pulau Madura bulan September tahun 2023, tergambar variasi suhu permukaan tanah (LST) yang mencapai rentang antara 26,18691°C hingga 43,191732°C. Legenda peta, variasi suhu LST ini direpresentasikan dalam beberapa kisaran . Pada wilayah dengan suhu LST 26,18691°C digambarkan dengan warna piksel biru yang mempresentasikan kisaran suhu yang sangat rendah, sedangkan kisaran suhu LST [26,18691–34,85565]°C digambarkan dengan warna piksel hijau yang mempresentasikan kisaran suhu yang rendah. Wilayah

dengan suhu LST $[34,85565- 39,190032]^{\circ}\text{C}$ digambarkan dengan warna piksel kuning yang mempresentasikan kisaran suhu yang sedang, sedangkan kisaran suhu LST $[39,190032 - 40,59062]^{\circ}\text{C}$ digambarkan dengan warnaa piksel jingga muda yang mempresentasikan kisaran suhu yang tinggi dan wilayah dengan suhu LST $[40,59062 - 42,191732]^{\circ}\text{C}$ digambarkan dengan warna piksel jingga tua yang mempresentasikan kisaran suhu yang sangat tinggi. Peta ini memberikan informasi yang jelas mengenai pola distribusi suhu LST di Pulau Madura bulan September tahun 2023, dengan perbedaan yang signifikan.

Tabel 4. 11 Nilai luasan LST bulan September tahun 2023

LST	Luasan (km^2)	keterangan
$\leq 26,18691$	231,06	Sangat rendah
$[26,18691-34,85565]$	205,05	Rendah
$[34,85565- 39,190032]$	19,28	Sedang
$[39,190032 - 40,59062]$	792,01	Tinggi
$[40,59062 - 42,191732]$	3920,93	Sangat Tinggi
total	5.168,33	

Berdasarkan hasil analisis terhadap tabel persebaran Land Surface Temperature (LST) pada tahun 2023, terdapat variasi yang signifikan dalam kategori suhu permukaan tanah berdasarkan luas wilayahnya. Kategori pertama mencakup wilayah dengan suhu permukaan yang tergolong rendah, dengan nilai LST sebesar $26,18691^{\circ}\text{C}$ dan luas area mencapai sekitar $231,06 \text{ km}^2$. Selanjutnya, wilayah dengan suhu permukaan rendah memiliki nilai LST yang berkisar antara

26,18691°C hingga 34,85565°C, yang mencakup area seluas 205,05 km². Pada kategori suhu sedang, nilai LST berada dalam rentang 34,85565°C hingga 39,190032°C, dengan cakupan wilayah seluas 19,28 km². Sementara itu, pada kategori suhu tinggi, nilai LST berkisar antara 39,190032°C hingga 40,59062°C, mencakup luas wilayah sebesar 792,01 km². Terakhir, kategori suhu yang sangat tinggi menunjukkan nilai LST antara 40,59062°C hingga 42,191732°C, yang meliputi wilayah dengan luas sekitar 3920,93 km².

Berdasarkan distribusi luas wilayah Madura yang dikelompokkan berdasarkan kategori nilai LST tersebut, dapat disimpulkan bahwa suhu permukaan tanah pada tahun 2023 cenderung berada pada kategori suhu yang sangat tinggi. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan suhu yang signifikan di berbagai wilayah, terutama di wilayah dengan kategori suhu sangat tinggi yang mencakup luas area terbesar. Peningkatan suhu permukaan tanah yang ekstrem ini menunjukkan bahwa pada tahun 2023 terjadi kondisi lingkungan yang mengalami kekeringan parah, yang kemungkinan besar disebabkan oleh fenomena El Niño. Fenomena ini dikenal karena pengaruhnya terhadap peningkatan suhu global, yang dapat memperparah kondisi kekeringan di berbagai wilayah Pulau Madura. Fenomena El Niño pada tahun 2023 kemungkinan menjadi faktor utama dalam pemanasan suhu permukaan tanah yang tercermin dari persebaran LST yang sangat tinggi di sejumlah besar wilayah di Pulau Madura.

Hasil klasifikasi suhu permukaan tanah (LST) pada gambar 4.14, gambar 4.15, dan gambar 4.16 menunjukkan bahwa LST pada tahun 2023 memiliki suhu minimum paling rendah dan maksimum paling tinggi dibandingkan tahun 2021 dan 2022. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Prayoga (2017), terdapat

hubungan yang signifikan antara peningkatan suhu permukaan tanah dengan kerentanan terhadap kekeringan. Prayoga menyimpulkan bahwa semakin tinggi suhu permukaan tanah, semakin besar pula kerentanan suatu wilayah terhadap kekeringan. Sebaliknya, suhu permukaan tanah yang lebih rendah akan diikuti dengan tingkat kerentanan yang lebih rendah. Hal ini dapat dilihat pada peristiwa yang terjadi pada bulan September tahun 2023, di mana suhu permukaan tanah yang tercatat cukup tinggi berkontribusi terhadap peningkatan kerentanan terhadap kekeringan di wilayah tersebut. Adapun nilai suhu permukaan tanah (Land Surface Temperature/LST) yang didapatkan melalui perhitungan selama periode tersebut disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4. 12 Estimasi LST

Tahun	LST Min	LST Max	LST Avg
2021	16,871°C	35,3873°C	34,1291°C
2022	15,52008°C	31,3596°C	31,4398°C
2023	26,18691°C	42,191732°C	37,1893°C

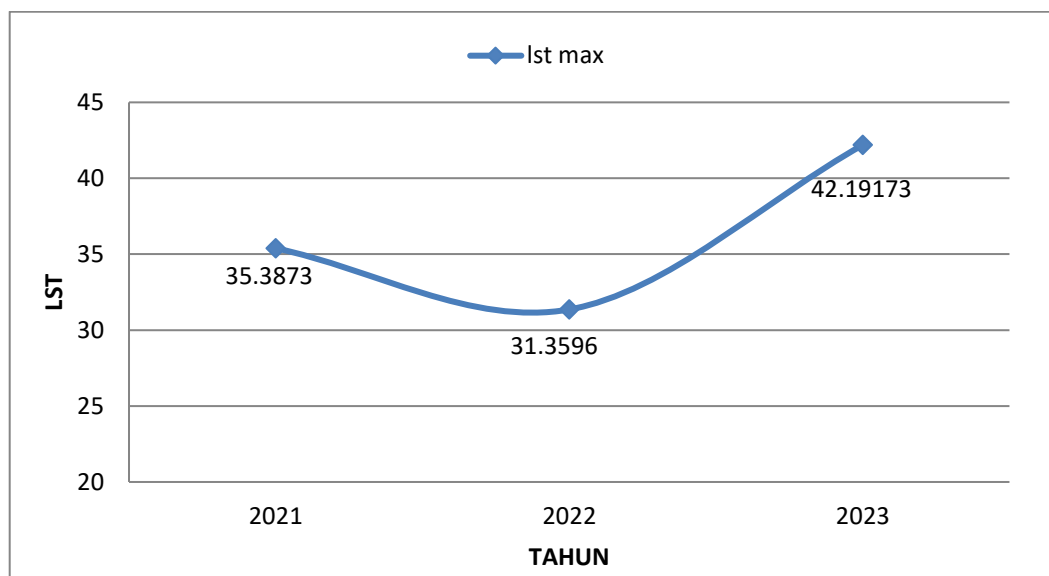
Pada tahun 2021, suhu permukaan tanah (Land Surface Temperature/LST) di Pulau Madura menunjukkan nilai minimum sebesar 16,871°C dan nilai maksimum mencapai 35,387°C. Di tahun 2022, nilai LST minimum mengalami penurunan menjadi 15,52008°C dengan nilai maksimum sebesar 31,3596°C. Namun, pada tahun 2023, terjadi peningkatan yang signifikan, di mana nilai LST minimum tercatat sebesar 26,18691°C dan nilai maksimum mencapai 43,191731°C. Nilai rata-rata LST pada tahun 2021 adalah 34,1291°C, sementara

pada tahun 2022 nilai rata-rata turun menjadi 31,4398°C, dan kembali meningkat pada tahun 2023 menjadi 37,1893 °C. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu permukaan tanah selama periode 2021,2022 dan 2023 mengalami fluktuasi yang tidak beraturan. Pada nilai-nilai tersebut sudah sesuai dengan data yang diperoleh di BMKG Trunojoyo Sumenep.

Perubahan nilai LST dari tahun ke tahun dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama kondisi tutupan lahan dan penurunan vegetasi di Pulau Madura. Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan yang dikemukakan oleh Rizki Cholik Zulkarnain (2016), yang mengungkapkan bahwa perubahan kondisi tutupan lahan, terutama yang melibatkan alih fungsi lahan dari kawasan pertanian, tanah kosong, dan area jalur hijau menjadi kawasan hunian atau pemukiman, memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan suhu permukaan tanah. Perubahan ini, yang mengakibatkan berkurangnya vegetasi dan penurunan kemampuan lahan dalam menyerap serta menyimpan panas, menjadi faktor utama yang memengaruhi dinamika suhu di permukaan bumi. Proses urbanisasi ini mengurangi luas ruang terbuka hijau, sehingga meningkatkan penutupan lahan dengan bangunan dan menyebabkan suhu permukaan meningkat. Selain itu, tingkat kerapatan vegetasi juga memainkan peran penting dalam meredam peningkatan suhu permukaan. Vegetasi mampu menurunkan suhu permukaan dengan cara mengurangi jumlah panas yang dipantulkan kembali ke atmosfer serta meminimalisasi efek rumah kaca. Oleh karena itu, penurunan vegetasi secara langsung berdampak pada peningkatan suhu permukaan di Pulau Madura. Penurunan vegetasi dan meningkatnya pembangunan di daerah tersebut menjadi faktor utama yang mempengaruhi fluktuasi nilai LST dari tahun 2021, 2022 dan

2023, sebagaimana yang juga telah dibuktikan dalam penelitian sebelumnya oleh Zulkarnain (2016).

Peta LST di Pulau Madura pada tahun 2023 menampilkan beberapa perbedaan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan peta tahun 2021 dan 2022. Pada tahun 2021 kondisi Pulau Madura bisa dibilang berada dalam keadaan normal yang dikarenakan efek kemarau biasa sebab daerah yang memiliki titik suhu yang di atas 35°C hanya sedikit. Pada tahun 2022 mengalami perubahan yang signifikan yang mengalami penurunan suhu yang cukup drastis. Hal ini terjadi karena vegetasi yang cukup tinggi dan suhunya masih di bawah 35°C sehingga tidak terjadi kemarau. Sementara itu, pada tahun 2023 sangat mengalami peningkatan yang signifikan dikarenakan efek dari kemarau panjang akibat adanya El-nino, dimana titik sebaran suhu permukaan tanah yang diatas 39°C itu meluas dibandingkan di tahun 2021.



Gambar 4. 17 Grafik perbandingan Suhu Permukaan Tanah tahun 2021,2022 dan 2023

Dari grafik di atas, dapat diamati bahwa terjadi penurunan suhu dari tahun 2021 ke tahun 2022. Penurunan ini dapat dijelaskan oleh kestabilan suhu yang dialami di Pulau Madura, yang menunjukkan bahwa selama periode tersebut, daerah ini tidak mengalami kekeringan yang disebabkan oleh fenomena El Niño. Namun, situasi ini berubah secara drastis pada tahun 2023, di mana terjadi peningkatan suhu yang signifikan dan meluas di seluruh wilayah Pulau Madura. Kenaikan suhu yang mencolok ini menjadi indikasi kuat bahwa pada tahun 2023, Pulau Madura mengalami dampak El Niño yang lebih parah. Hal ini dapat dipahami karena dampak El-Niño menyebabkan musim kemarau yang lebih panjang, dengan penguapan yang meningkat dan curah hujan yang berkurang, sehingga mengakibatkan kondisi lingkungan yang lebih kering dan suhu udara yang lebih tinggi. Selain itu, El Niño juga dapat mengurangi tutupan awan dan meningkatkan radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi, memperburuk kondisi panas. Pada tahun 2023, perubahan ini menyebabkan suhu di Pulau Madura melonjak, menunjukkan dampak El Niño yang lebih parah dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Konsekuensi dari kondisi ini meliputi risiko kebakaran hutan yang lebih tinggi, gangguan pada aktivitas pertanian karena kekeringan yang lebih intens, serta potensi kekurangan air bersih bagi penduduk setempat (Safitri, S. (2015).

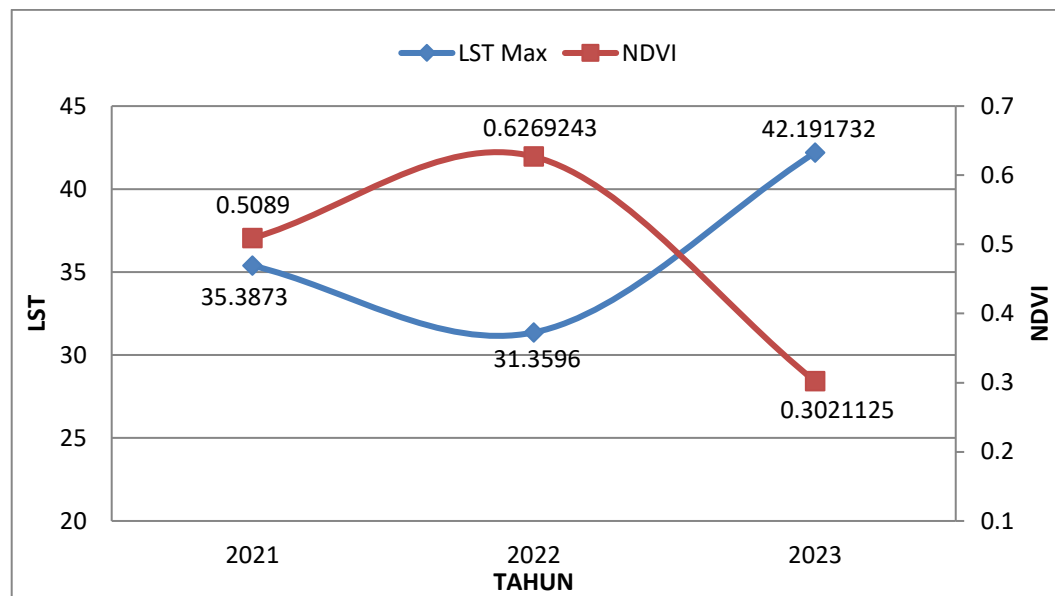
Secara garis besar, kondisi suhu yang meningkat ini sejalan dengan pola musiman di Indonesia, di mana pada bulan September (Fadholi, 2013), biasanya memasuki musim kemarau yang ditandai dengan cuaca panas dan peningkatan suhu. Namun, fenomena El Niño memperburuk kondisi ini dengan menaikkan suhu jauh lebih tinggi dari biasanya, menyebabkan periode panas yang ekstrem.

Peningkatan suhu yang drastis ini mencapai puncaknya dengan suhu maksimum yang tercatat sebesar 42,19°C, yang sangat tidak biasa dan jauh melebihi rata-rata suhu pada bulan tersebut di tahun-tahun sebelumnya.

Peningkatan suhu yang ekstrem ini menandakan adanya kekeringan yang diakibatkan oleh fenomena El Niño pada bulan September tahun 2023. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengaruh El Niño bukan hanya meningkatkan suhu tetapi juga memperburuk kekeringan, yang berdampak pada ekosistem dan kehidupan masyarakat di Pulau Madura. Kekeringan yang parah ini dapat berdampak negatif pada sektor pertanian, ketersediaan air, dan kesehatan lingkungan secara keseluruhan. Oleh karena itu, pemantauan suhu dan pola cuaca secara terus-menerus sangat penting untuk memahami dampak perubahan iklim dan mengambil tindakan mitigasi yang tepat untuk mengurangi risiko yang terkait dengan fenomena El Niño di masa depan.

4.4 Hubungan antara NDVI dan LST akibat dampak El-Nino

Dapat diamati pada gambar 4.17 bahwa terdapat hubungan antar NDVI dan LST akibat dampak El-nino di Pulau Madura:



Gambar 4. 18 Grafik hubungan antara NDVI dan LST

Terlihat sangat jelas hubungan antara LST dan NDVI di Pulau Madura akibat dampak fenomena El-nino. Pada tahun 2023, fenomena El-Nino menjadi sangat jelas karena terjadi penurunan vegetasi yang cukup drastis, yang ditunjukkan oleh penurunan nilai NDVI, serta peningkatan suhu permukaan yang signifikan, yang tercermin dari kenaikan nilai LST. Di Pulau Madura, dampak El Nino pada tahun 2023 sangat nyata. Kekeringan yang disebabkan oleh berkurangnya curah hujan akibat El Niño menyebabkan vegetasi mengering dan mati, yang mengakibatkan penurunan drastis dalam nilai NDVI. Vegetasi yang sehat biasanya memiliki nilai NDVI yang tinggi, tetapi ketika tanaman mengalami stres atau mati karena kekurangan air, nilai NDVI menurun tajam. Penurunan vegetasi ini tidak hanya mengurangi penyerapan karbon dioksida, tetapi juga mengurangi penguapan air dari tanaman, yang biasanya memiliki efek pendinginan pada lingkungan sekitar. Dengan vegetasi yang berkurang, efek pendinginan ini juga berkurang, yang menyebabkan suhu permukaan tanah

meningkat, tercermin dalam peningkatan nilai LST. Peningkatan suhu permukaan ini semakin diperparah oleh radiasi matahari yang lebih langsung mengenai tanah yang tidak terlindungi oleh vegetasi. Kombinasi dari penurunan vegetasi dan peningkatan suhu permukaan menunjukkan dampak yang jelas dari El Nino, di mana pola cuaca yang berubah menyebabkan kondisi lingkungan yang lebih ekstrem, dengan panas yang lebih tinggi dan vegetasi yang lebih sedikit. Oleh karena itu, fenomena El Niño menimbulkan dampak yang jelas pada LST dan NDVI di Pulau Madura, dengan peningkatan suhu permukaan yang signifikan dan penurunan vegetasi yang drastis pada tahun 2023.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sukojo dan Diah (2018), terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara tingkat kerapatan vegetasi yang diukur melalui nilai Indeks Vegetasi (NDVI) dan Suhu Permukaan Tanah (LST) pada suatu wilayah. Penelitian tersebut mengungkapkan bahwa semakin tinggi tingkat kerapatan vegetasi yang ditunjukkan oleh nilai NDVI yang lebih besar, maka Suhu Permukaan Tanah (LST) di wilayah tersebut cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh kemampuan vegetasi dalam menyerap radiasi matahari dan mengurangi pelepasan panas dari permukaan tanah, sehingga memberikan efek pendinginan pada wilayah dengan tingkat vegetasi yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan vegetasi yang rapat untuk menyerap lebih banyak energi matahari dan mengurangi suhu melalui proses evapotranspirasi. Sebaliknya, jika suatu wilayah memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang rendah, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai Indeks Vegetasi (NDVI) yang kecil, maka wilayah tersebut cenderung mengalami peningkatan Suhu Permukaan Tanah (LST). Kondisi ini terjadi karena rendahnya

keberadaan vegetasi mengurangi kemampuan wilayah tersebut untuk menyerap radiasi matahari secara optimal, sehingga lebih banyak panas yang terakumulasi dan dilepaskan kembali ke atmosfer. Akibatnya, wilayah dengan nilai NDVI yang rendah biasanya menunjukkan suhu permukaan tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah yang memiliki kerapatan vegetasi yang tinggi. Ini terjadi karena wilayah dengan sedikit vegetasi atau tanpa vegetasi memiliki kemampuan yang lebih rendah untuk menyerap energi matahari dan mengurangi suhu permukaan, sehingga menyebabkan peningkatan suhu tanah. Dengan kata lain, kerapatan vegetasi yang rendah tidak mampu menyediakan efek pendinginan alami yang efektif, yang pada akhirnya membuat suhu permukaan tanah meningkat (Sukojo & Diah, 2018)

Ketika fenomena el-nino terjadi, biasanya diikuti oleh kondisi cuaca yang lebih panas dan kering, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan vegetasi dan kondisi permukaan tanah. Pada kondisi ini NDVI cenderung menurun karena kekeringan menyebabkan stress pada tanaman, mengurangi kepadatan dan kesehatan vegetasi. Penurunan NDVI ini berkontribusi pada peningkatan LST karena kurangnya vegetasi yang mampu menyerap radiasi matahari dan melakukan transpirasi, proses dimana air diubah menjadi uap dan dilepaskan ke atmosfer, yang memiliki efek pendinginan pada suhu permukaan tanah. Dengan lebih sedikit vegetasi yang menyerap panas, permukaan tanah menyerap lebih banyak energi matahari dan memancarkannya kembali sebagai panas, yang menyebabkan peningkatan LST. Selain itu, dampak El-nino yang memperpanjang periode kekeringan memperburuk siklus ini, karena tanah yang lebih kering dan tidak terlindungi oleh vegetasi lebih cepat memanaskan.

Di Indonesia, dampak El Niño sering kali terlihat dalam bentuk peningkatan suhu udara, kekeringan yang lebih parah, dan penurunan curah hujan yang signifikan. Ketika El Niño terjadi, massa udara yang lebih hangat dari biasanya terbawa ke wilayah Indonesia, termasuk Pulau Madura, menyebabkan suhu permukaan meningkat. Kondisi ini juga dapat mengurangi jumlah awan dan presipitasi, yang berujung pada kekeringan yang lebih intens dan periode tanpa hujan yang lebih panjang.

Pada tahun 2023, peningkatan suhu yang tajam di Pulau Madura kemungkinan besar disebabkan oleh fenomena El Niño yang kuat. Dampaknya tidak hanya terbatas pada peningkatan suhu, tetapi juga mencakup masalah pertanian, di mana kekeringan dapat merusak tanaman dan mengurangi hasil panen. Selain itu, kekeringan yang berkepanjangan dapat mengurangi ketersediaan air bersih dan memperburuk kondisi kesehatan masyarakat lokal.

Dampak El Niño juga berpengaruh pada ekosistem lokal, termasuk penurunan kualitas air dan stres pada flora dan fauna yang tidak terbiasa dengan kondisi suhu tinggi. Dalam jangka panjang, perubahan pola cuaca seperti ini bisa mengganggu keseimbangan ekosistem dan menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi penduduk setempat yang bergantung pada pertanian dan perikanan (Safitri, S. (2015).

Secara keseluruhan, fenomena El Niño pada tahun 2023 menunjukkan betapa rentannya Pulau Madura terhadap perubahan iklim global, dan pentingnya langkah-langkah mitigasi dan adaptasi untuk mengurangi dampak negatif di masa depan. Oleh karena itu, pemantauan hubungan antara LST dan NDVI selama periode El-nino sangat penting untuk memahami dampak jangka

panjang pada ekosistem, manajemen sumber daya alam, dan strategi adaptasi iklim di berbagai wilayah yang terpengaruh.

Dengan mempelajari hubungan antara LST dan NDVI selama periode El Niño pada gambar 4.17 yang menjelaskan bahwa sanya elnino dapat mempengaruhi LST dan NDVI. Perubahan nilai LST yang berkolerasi dengan penurunan NDVI menunjukkan bahwa vegetasi mengalami tekanan yang signifikan, yang dapat mengarah pada kerusakan ekosistem, penurunan keanekaragaman hayati, dan hilangnya habitat. Informasi ini sangat penting untuk konservasi ekosistem karena memungkinkan kita mengidentifikasi area yang paling rentan dan membutuhkan intervensi segera untuk menjaga keseimbangannya (Schutter,2015).

Selain itu, pemantauan ini sangat relevan untuk manajemen sumber daya alam. Dengan mengetahui bagaimana suhu dan vegetasi berubah selama El Niño, pengelola sumber daya dapat mengambil langkah-langkah yang lebih tepat dalam mengelola air, tanah, dan vegetasi. Misalnya, data ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan sistem irigasi, mengimplementasikan praktik konservasi tanah yang lebih baik, dan merancang kebijakan penggunaan lahan yang lebih berkelanjutan. Hal ini juga membantu dalam mitigasi dampak kekeringan dan memastikan bahwa sumber daya alam dapat terus mendukung kehidupan manusia dan aktivitas ekonomi.

4.5 Perspektif Mitigasi Fenomena El-nino dalam Ajaran Islam

El Niño, sebagai fenomena alam yang ditandai dengan pemanasan signifikan di Samudra Pasifik tengah dan timur, memberikan tantangan serius bagi stabilitas iklim global dan pola cuaca di seluruh dunia. Dampaknya meliputi

kekeringan parah, banjir, badai tropis, dan perubahan ekstrem dalam pola curah hujan, menyoroti perlunya strategi mitigasi yang proaktif dan berkelanjutan. Dari sudut pandang teologi islam memberikan pandangan yang dalam tentang bagaimana umat manusia seharusnya memandang dan merespons cobaan dan bencana yang menimpa bumi seperti yang di jelaskan pada Surah Al-Hadid ayat 22 yang berbunyi :

مَا أَصَابَ مِنْ مُصِيبَةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي أَنْفُسِكُمْ إِلَّا فِي كِتَابٍ مِنْ قَبْلِ أَنْ نَبْرَأَهَا إِنَّ ذَلِكَ عَلَى اللَّهِ يَسِيرٌ (٢٢)

Artinya:

“Tidak ada bencana (apapun) yang menimpa di bumi dan tidak (juga yang menimpa) dirimu, kecuali telah tertulis dalam kitab (Lauh Mahfuz) sebelum Kami mewujudkannya. Sesungguhnya hal itu mudah bagi Allah.”

Surah Al-Hadid ayat 22, mengajarkan bahwa tidak ada peristiwa yang terjadi di bumi ini yang tidak ditetapkan dalam takdir Allah sebelumnya. Hal ini mencakup semua ujian dan bencana alam, termasuk El Niño, yang menjadi bagian dari dinamika alam semesta yang lebih besar. Pandangan ini mengajarkan umat manusia untuk tidak hanya menerima takdir, tetapi juga belajar darinya, bertindak dengan bijaksana dalam menjaga alam, dan mengambil langkah-langkah proaktif untuk melindungi lingkungan. Ayat ini juga menegaskan bahwa segala peristiwa merupakan bagian dari rencana ilahi yang telah ditetapkan sebelumnya. Dalam konteks El Niño, fenomena ini merupakan bukti dari kompleksitas sistem alam yang diberikan oleh Allah untuk menguji umat manusia dan mengingatkan mereka akan keterbatasan dan ketergantungan mereka pada pencipta alam semesta.

Menurut Tafsir Al-Mukhtashar yang disusun oleh Markaz Tafsir Riyadh di bawah pengawasan Syaikh Dr. Shalih bin Abdullah bin Humaid, Imam Masjidil Haram, Surah Al-Hadid ayat 22 menjelaskan bahwa tiada bencana yang menimpa manusia di bumi, seperti kekeringan dan lainnya, melainkan hal itu telah ditetapkan di Lauh Mahfuz sebelum penciptaan makhluk. Segala sesuatu yang terjadi, termasuk bencana alam, adalah bagian dari rencana Allah yang telah ditetapkan dengan kebijaksanaan dan pengetahuan-Nya yang sempurna.

Fenomena El Niño, yang menyebabkan perubahan iklim signifikan seperti kekeringan parah di beberapa daerah dan banjir besar di daerah lainnya, dapat dipahami sebagai bagian dari ketentuan ilahi ini. Dalam konteks tafsir tersebut, El Niño adalah fenomena alam yang telah ditetapkan oleh Allah sebelum penciptaan makhluk, dan manusia harus menerimanya dengan lapang dada. Pemahaman ini mengajarkan kita untuk memiliki keyakinan yang kuat bahwa segala sesuatu terjadi dengan izin dan kehendak Allah, serta mengurangi kesedihan yang berlebihan atas musibah yang menimpa, karena semuanya telah ditetapkan dengan hikmah yang mungkin belum kita pahami sepenuhnya.

Sebagai umat Islam, kita diajarkan untuk menghadapi bencana dengan sabar dan tabah, serta berusaha mencari solusi yang dapat mengurangi dampak buruk dari fenomena tersebut. Misalnya, dalam menghadapi kekeringan akibat El Niño, kita dapat mengadopsi teknik irigasi yang lebih efisien, mengembangkan teknologi penyimpanan air yang lebih baik, serta melakukan reboisasi untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Dalam Islam sebagai agama yang holistik memberikan panduan yang kaya tentang bagaimana umatnya harus merespons dan mengelola bencana alam seperti El Niño. Berdasarkan prinsip-prinsip khalifah di

bumi dan tanggung jawab untuk menjaga alam semesta, Islam mendorong pengelolaan lingkungan yang bijaksana dan berkelanjutan. Ini termasuk praktik konservasi seperti pelestarian hutan, upaya penghijauan, dan restorasi ekosistem yang rentan terhadap dampak El Niño seperti kekeringan dan banjir.

Manajemen sumber daya air menjadi fokus utama dalam mitigasi dampak El Niño. Ajaran Islam menekankan penggunaan air yang adil dan bijaksana, terutama dalam situasi kelangkaan air. Penerapan sistem irigasi yang efisien, promosi teknik penghematan air dalam pertanian, dan investasi dalam teknologi pengumpulan air adalah langkah-langkah yang krusial untuk meningkatkan ketahanan terhadap kekeringan yang dipicu oleh El Niño. Langkah-langkah ini tidak hanya menjaga ketersediaan air yang berkelanjutan tetapi juga meningkatkan ketahanan komunitas terhadap variasi iklim yang ekstrem. Keadilan sosial dan solidaritas merupakan nilai inti dalam etika lingkungan Islam. Menanggapi El Niño, Islam mendorong alokasi sumber daya yang adil dan dukungan bagi komunitas yang rentan terhadap dampak kekeringan, banjir, dan bencana lainnya yang diperparah oleh perubahan iklim. Memberikan bantuan kemanusiaan, menjamin keamanan pangan, dan mempromosikan keberlanjutan ekonomi di antara populasi yang terkena dampak adalah tindakan-tindakan yang mendesak yang dipandu oleh prinsip-prinsip Islam tentang kasih sayang dan solidaritas.

Strategi kesiapsiagaan dan adaptasi juga sangat penting dalam mitigasi dampak sosial-ekonomi El Niño. Ajaran Islam mendorong perencanaan proaktif dan langkah-langkah membangun ketahanan untuk meminimalkan kerentanan dan memaksimalkan kesiapan masyarakat. Membangun sistem peringatan dini, melakukan evaluasi risiko, dan mengintegrasikan teknologi cerdas iklim dalam

perencanaan pembangunan adalah langkah kritis yang didukung oleh prinsip-prinsip Islam tentang kecermatan dan pencegahan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil transformasi NDVI, kerapatan vegetasi yang tinggi teridentifikasi hampir merata di seluruh wilayah Pulau Madura selama periode September 2021, 2022, dan 2023. Namun, perubahan signifikan pada tingkat kerapatan vegetasi terjadi pada tahun 2023, di mana kondisi kerapatan vegetasi menunjukkan penurunan yang signifikan dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Pada tahun 2021 dan 2022, tutupan vegetasi masih dalam kondisi sehat, yang ditandai dengan tingginya nilai NDVI sebagai indikator berlangsungnya proses fotosintesis yang optimal. Sebaliknya, pada bulan September 2023, penurunan kualitas vegetasi terlihat jelas, dengan nilai NDVI yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan meningkatnya terjadinya fenomena kekeringan akibat penurunan kerapatan vegetasi.
2. Hasil ekstraksi Land Surface Temperature (LST) dari citra Landsat 8 untuk wilayah Pulau Madura pada periode bulan September 2023 menunjukkan adanya peningkatan suhu yang signifikan, dengan nilai LST yang berkisar antara 26,19°C hingga 42,19°C. Peningkatan suhu ini salah satu penyebab utama terjadinya kekeringan yang dipengaruhi oleh fenomena El-Nino. Sebaliknya, pada periode bulan September 2021, nilai LST relatif stabil dan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan, dengan kisaran nilai antara

16,87°C hingga 35,39°C. Suhu pada periode ini dapat dikategorikan sebagai suhu normal. Namun, terdapat anomali pada hasil ekstraksi LST untuk periode September 2022. Pada periode tersebut, kondisi di Pulau Madura seharusnya telah memasuki musim peralihan menuju musim kemarau, tetapi peningkatan suhu baru terjadi pada bulan Oktober 2022. Hal ini menyebabkan suhu pada bulan September 2022 relatif lebih rendah dibandingkan dengan tahun lainnya, dengan nilai LST yang berkisar antara 15,52°C hingga 31,36°C.

3. Hasil pemetaan distribusi kekeringan yang diakibatkan oleh fenomena El-Nino di Pulau Madura menunjukkan bahwa puncak musim kering terjadi pada bulan September 2023. Dalam penelitian ini, transformasi NDVI dan LST terbukti menjadi salah satu pendekatan yang efektif untuk mengestimasi dampak kekeringan yang dipengaruhi oleh fenomena El-Nino. Metode ini memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi vegetasi dan suhu permukaan tanah sebagai indikator utama kekeringan.

5.2 Saran

Pada penelitian yang selanjutnya disarankan untuk terus memantau perubahan parameter NDVI dan LST di Pulau Madura menggunakan citra satelit Landsat-8 dalam jangka panjang, sehingga dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang dampak fenomena El-Nino terhadap ekosistem pulau tersebut. Disarankan pula untuk mengembangkan strategi mitigasi dan adaptasi yang berbasis data untuk mengurangi kerentanan terhadap perubahan iklim, serta meningkatkan ketahanan lingkungan dan sosial masyarakat lokal di masa depan.

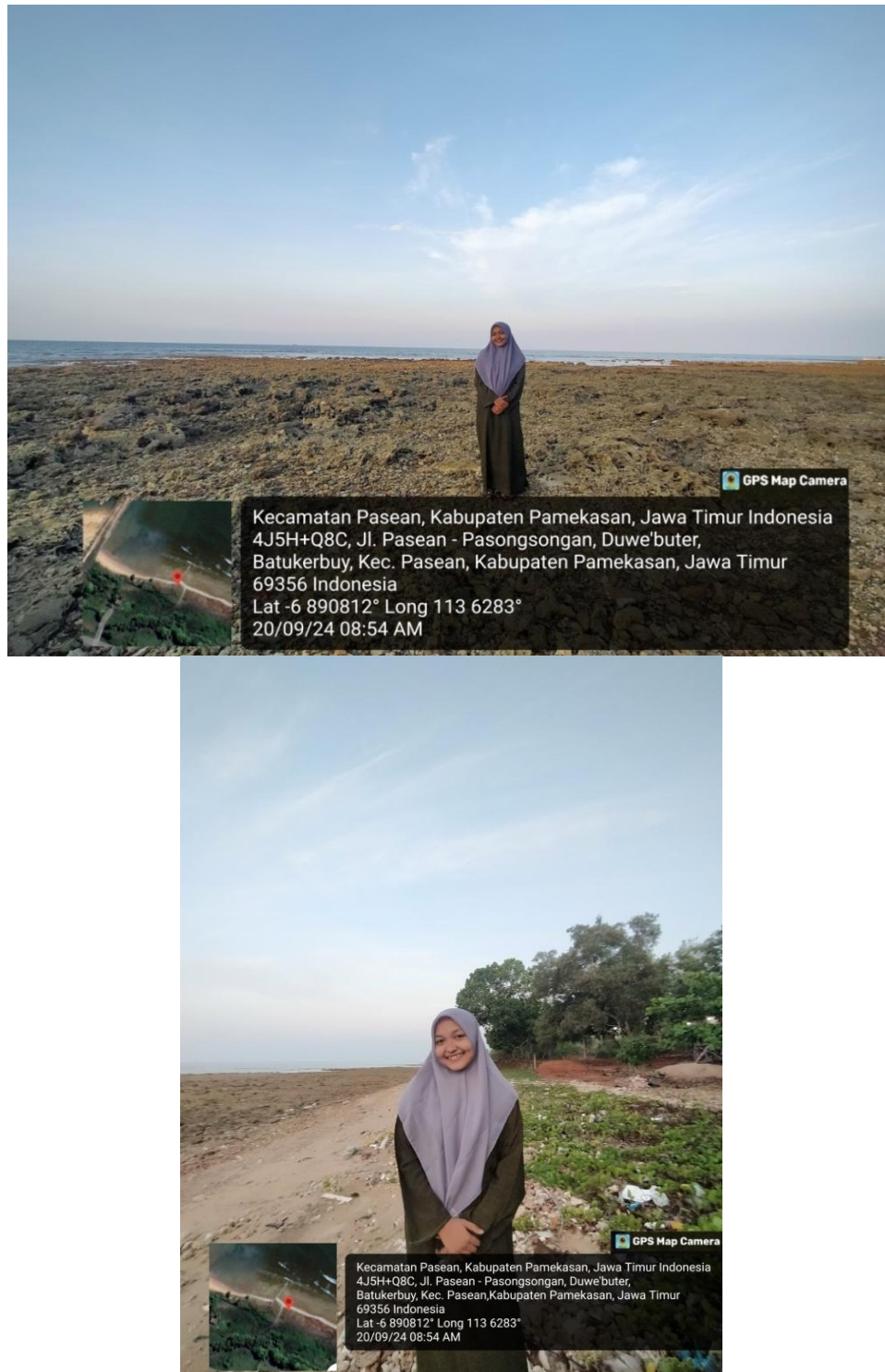
DAFTAR PUSTAKA

- Astrini, Retno. 2014. Modul Pelatihan Quantum GIS Tingkat Dasar. NTB: BAPPEDA.
- Badan Koordinasi Nasional Penanganan Bencana. 2007. Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia. Direktorat Mitigasi, Lakhar Bakornas PB, Jakarta
- Bhuiyan, C. dan Kogan, FN: Variasi monsun dan pola kekeringan vegetatif di Cekungan Luni di zona bayangan hujan, Int. J. Sensor Jarak Jauh, 31, 3223–3242, <https://doi.org/10.1080/01431160903159332> , 2010.
- Daruati, Dini. 2012. Pola Kekeringan Lahan Basah (Sawah) di Provinsi Jawa Barat. Tesis. Depok : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
- Fathoni, M. A. (2015). PEMANFAATAN CITRA LANDSAT 8 UNTUK PEMETAAN KEKERINGAN PERTANIAN DENGAN TRANSFORMASI TEMPERATURE VEGETATION DRYNESS INDEX (TVDI) DI KABUPATEN SUKOHARJO TAHUN 2013 - 2014.
- Indarwati, L. D. (2017). Pengaruh El Nino Dan La Nina Terhadap Produktivitas Dan Rendeman Tebu (*Saccharum officinarum* .L) (Studi Kasus di Kecamatan Pitu Kabupaten Ngawi). *Skripsi*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Jamil, D., H. Tjahjono, H. & Parman, S. (2013). Deteksi Potensi Kekeringan Berbasis Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Klaten. *Jurnal Geo-image*, 2(2), 30-37.
- Kurnia, K.D, Sunaryo, D.K, & Noraini. A. (2019). Analisis potensi kekeringan lahan sawah dengan menggunakan metode Normalized Differency Drought Index (NDDI) dan Thermal Vegetation Index (TVI).
- Lillesand, T.M., dan Kiefer., 1994. Pengindraan Jauh dan Interpretasi Citra. Terjemahan oleh Sutanto. 1990. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Priyono, K. D., & Rachmawati, L. A. (2023). IDENTIFIKASI KEKERINGAN LAHAN PERTANIAN BERDASARKAN METODE TEMPERATURE VEGETATION DRYNESS INDEX (TVDI) PADA CITRA LANDSAT-8 OLI/TIRS DI KABUPATEN MADIUN JAWA TIMUR. *21*, 139-151.
- Prayoga, M., P. (2017). Analisis Spasial Tingkat Kekeringan Wilayah Berbasis Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kabupaten Tuban). Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

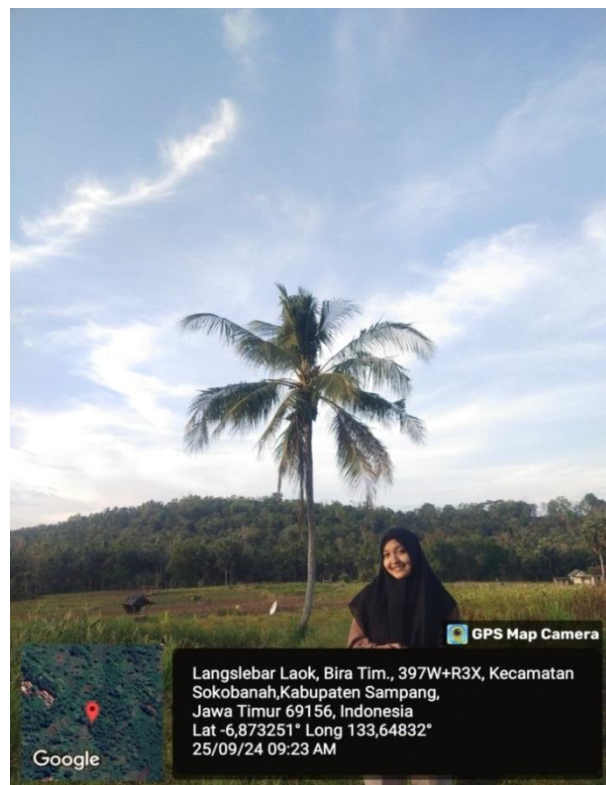
- Rustana, C. 2022. Analisis Dampak Erupsi Semeru menggunakan Normalized Differential Vegetation Index. *Jurnal Noutrio*.
- Rustana, C. 2021. Comparative analysis of NOAA-11/AVHRR land surface temperature (LST) algorithm and LST MODIS data
- Rustana, C. 2019. Development and validation of algorithms for LST measurement from NOAA-11/AVHRR satellite data
- Sholikhudin Afyan, (2022). Analisis Fenomena El-Nino dan La-Nina Terhadap Perubahan Iklim (Intensitas Curah Hujan) dan Hasil Tangkap Ikan. Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya.
- Safitri, S. (2015). EL NINO, LA NINA DAN DAMPAKNYA TERHADAP KEHIDUPAN DI INDONESIA. *JURNAL CRIKSETRA*, 4(8), 155.
- Saskia Ambarwati, (2021). Hubungan Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Perubahan Land Surface Temperature di Kota Depok Tahun 2009-2019. Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan Uiversitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Soenarmo, S. H., 2009. Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Infromasi Geografi Untuk Bidang Ilmu Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Sukojo, B. M., & D. W. (2018, Agustus). Analisis Tingkat Kekeringan Berdasarkan Parameter Indeks TVDI (Temperature Vegetation Dryness Indeks) dengan Data Citra Satelit Landsat-8 Multitemporal. *GEOID*, 13(2), 144-152.
- Sutanto. 1992. Penginderaan Jauh Dasar I. Yogyakarta : *Gadjah Mada University Press*.
- USGS, 2015. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook Version 1.0. EROS Sioux Falls, South Dakota
- Wisnaya, I.G.Y., 2008. Kemampuan Saluran Termal Citra Landsat 7 ETM+ dan Citra Aster Dalam Memetakan Pola Suhu Permukaan Di Kota Dempasar dan Sekitarnya. Tesis S2 Penginderaan Jauh. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Yokoyama, S. (2002). ENSO Impact on Food Crop Production and the Role of CGPRT Crops in Asia and the Pasific. *Makalah Seminar El Nino dan Implikasinya Terhadap Pembangunan Pertanian*. Bogor.
- Veri Pramesto, Abdi Sukmono, & Andri Suprayogi. (2019, Januari). Analisis perbandingan metode normalized difference drought index (NDDI) dan thermal vegetation index (TVX) dalam menentukan kekeringan lahan sawah (studi kasus:Kabupaten Kendal). *Jurnal Geodesi Undip*, 8,

LAMPIRAN

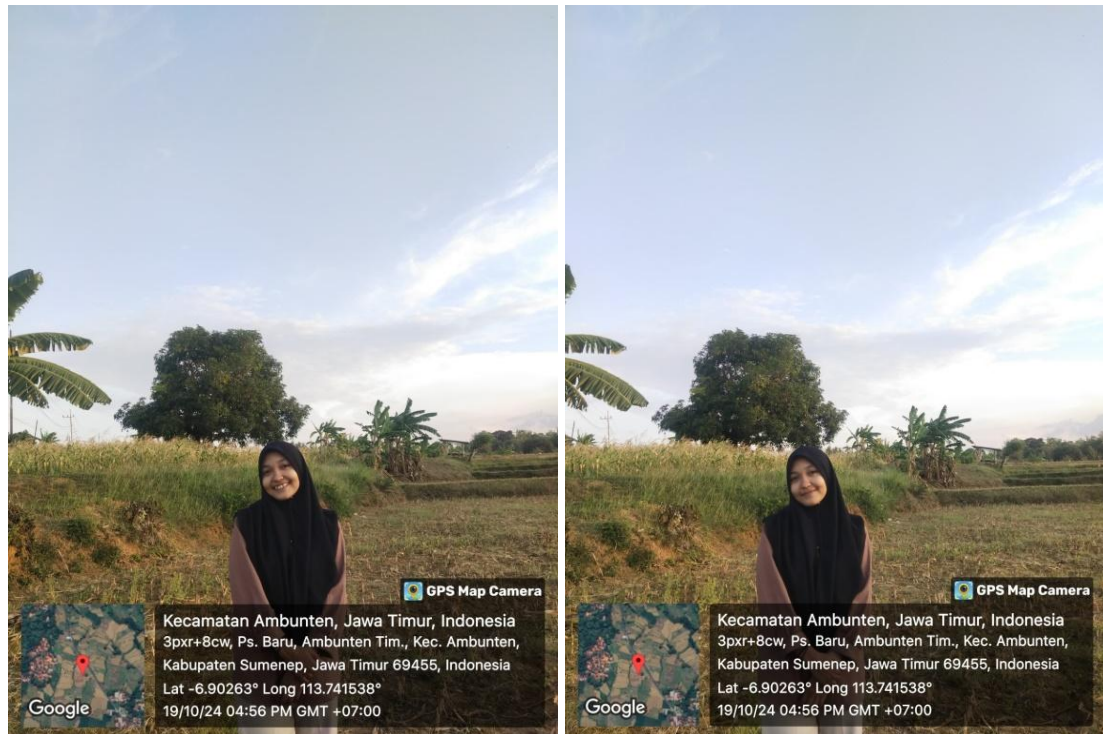
Lampiran 1. Hasil observasi pada warna vegetasi tahun September 2023 diberbagai wilayah Pulau Madura



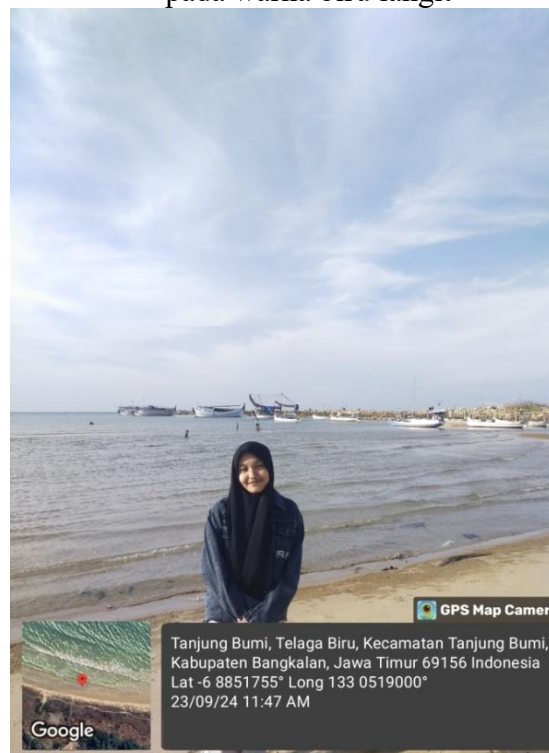
Gambar observasi pada wilayah dengan vegetasi perairan yang dimana ditunjukkan pada warna orange



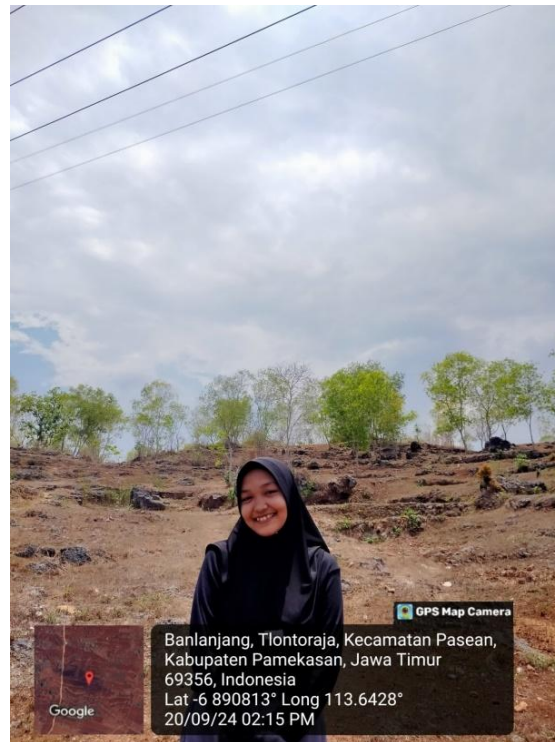
Gambar observasi pada wilayah dengan vegetasi tinggi yang mana ditunjukkan pada warna hitam



Gambar observasi pada wilayah dengan vegetasi sedang yang mana ditunjukkan pada warna biru langit



Gambar observasi pada wilayah perairan yang mana ditunjukkan pada warna kuning



Gambar observasi pada wilayah dengan vegetasi rendah yang mana ditunjukkan pada warna hijau

Lampiran 2. Data Penelitian

➤ 2021

GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 6.334
 GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 4.596
 GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.359
 RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
 QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
 QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
 QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
 QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
 QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
 QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
 END_GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_PIXEL_VALUE
 GROUP = LEVEL1_RADIOMETRIC_RESCALING
 RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.8222E-03
 RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0107E-03
 RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
 RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.11090
 RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.05342
 RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
 REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
 REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
 REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
 REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
 END_GROUP = LEVEL1_RADIOMETRIC_RESCALING
 GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS
 K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853
 K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
 END_GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS

```

GROUP = LEVEL1_PROJECTION_PARAMETERS

MAP_PROJECTION = "UTM"

DATUM = "WGS84"

ELLIPSOID = "WGS84"

UTM_ZONE = 49

GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00

GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00

GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00

ORIENTATION = "NORTH_UP"

RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"

END_GROUP = LEVEL1_PROJECTION_PARAMETERS

END_GROUP = LANDSAT_METADATA_FILE

END

```

➤ 2022

```

GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 6.851

GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.130

GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.540

RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10038

QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535

QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1

QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535

QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1

QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535

QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1

END_GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_PIXEL_VALUE

GROUP = LEVEL1_RADIOMETRIC_RESCALING

RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.8763E-03

RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0532E-03

RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.8000E-04

```

```

RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.38158
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.26607
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
END_GROUP = LEVEL1_RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 799.0284
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1329.2405
END_GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = LEVEL1_PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 49
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = LEVEL1_PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = LANDSAT_METADATA_FILE
END

```

➤ 2023

```

GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 6.548
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 4.881

```

GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.365
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
END_GROUP = LEVEL1_MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = LEVEL1_RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.8487E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0269E-03 RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.24344
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.13453
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
END_GROUP = LEVEL1_RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
END_GROUP = LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = LEVEL1_PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 49
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00

GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00

ORIENTATION = "NORTH_UP"

RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"

END_GROUP = LEVEL1_PROJECTION_PARAMETERS

END_GROUP = LANDSAT_METADATA_FILE

END

X = 114.3717 (Posisi Bujur Timur) Akses di aplikasi QGIS

Y = 65242 (Posisi Lintang Selatan) Akses di aplikasi QGIS

❖ 2021

$ML(band4) = 2.0000$ (REFLECTANCE_MULT_BAND_4) Akses Metadata

$AL(band4) = -0.100000$ (REFLECTANCE_ADD_BAND_4) Akses Metadata

$ML(band5) = 2.0000$ (REFLECTANCE_MULT_BAND_5) Akses Metadata

$AL(band5) = -0.100000$ (REFLECTANCE_ADD_BAND_4) Akses Metadata

$ML(band10) = 3.3420$ (RADIANCE_MULT_BAND_10) Akses Metadata

$AL(band10) = 0.10000$ (RADIANCE_ADD_BAND_10) Akses Metadata

$QCal(band4) = 5397$ (DIGITAL NUMBER) Akses di aplikasi QGIS

$QCal(band5) = 5140$ (DIGITAL NUMBER) Akses di aplikasi QGIS

$QCal(band10) = 30668$ (DIGITAL NUMBER) Akses di aplikasi QGIS

$K1 = 774.8853$ (K1_CONSTANT_BAND_10) Akses Metadata

$K2 = 1321.0789$ (K1_CONSTANT_BAND_10) Akses Metadata

$\varepsilon\lambda = 0.985$ (Akses Manual Landsat-8, 2016)

$\lambda = 10.8 \mu m$ (Akses Manual Landsat-8, 2016)

❖ 2022

$ML(band\ 4) = 2.0000$ (REFLECTANCE_MULT_BAND_4) Akses Metadata

$AL(band\ 4) = -0.100000$ (REFLECTANCE_ADD_BAND_4) Akses Metadata

$ML(band\ 5) = 2.0000$ (REFLECTANCE_MULT_BAND_5) Akses Metadata

$AL(band\ 5) = -0.100000$ (REFLECTANCE_ADD_BAND_4) Akses Metadata

$ML(band\ 10) = 3.8000$ (RADIANCE_MULT_BAND_10) Akses Metadata

$AL(band\ 10) = 0.10000$ (RADIANCE_ADD_BAND_10) Akses Metadata

$QCal(band\ 4) = 5397$ (DIGITAL NUMBER) Akses di aplikasi QGIS

$QCal(band\ 5) = 5140$ (DIGITAL NUMBER) Akses di aplikasi QGIS

$QCal(band\ 10) = 30668$ (DIGITAL NUMBER) Akses di aplikasi QGIS

$K1 = 799.0284$ (K1_CONSTANT_BAND_10) Akses Metadata

$K2 = 1329.2405$ (K1_CONSTANT_BAND_10) Akses Metadata

$\varepsilon\lambda = 0.985$ (Akses Manual Landsat-8, 2016)

$\lambda = 10.8 \mu m$ (Akses Manual Landsat-8, 2016)

❖ 2023

$ML(band\ 4) = 2.0000$ (REFLECTANCE _MULT_BAND_4) Akses Metadata

$AL(band\ 4) = -0.100000$ (REFLECTANCE _ADD_BAND_4) Akses Metadata

$ML(band\ 5) = 2.0000$ (REFLECTANCE _MULT_BAND_5) Akses Metadata

$AL(band\ 5) = -0.100000$ (REFLECTANCE _ADD_BAND_4) Akses Metadata

$ML(band\ 10) = 3.3420$ (RADIANCE _MULT_BAND_10) Akses Metadata

$AL(band\ 10) = 0.10000$ (RADIANCE _ADD_BAND_10) Akses Metadata

$QCal(band\ 4) = 5397$ (DIGITAL NUMBER) Akses di aplikasi QGIS

$QCal(band\ 5) = 5140$ (DIGITAL NUMBER) Akses di aplikasi QGIS

$QCal(band\ 10) = 30668$ (DIGITAL NUMBER) Akses di aplikasi QGIS

$K1 = 774.8853$ (K1_CONSTANT_BAND_10) Akses Metadata

$K2 = 1321.0789$ (K1_CONSTANT_BAND_10) Akses Metadata

$\varepsilon\lambda = 0.985$ (Akses Manual Landsat-8, 2016)

$\lambda = 10.8\ \mu m$ (Akses Manual Landsat-8, 2016)

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

AS MAHASISWA

: 200604110032
: HOSRAINI
: SAINS DAN TEKNOLOGI
: FISIKA
: RUSLI,M.Si
: AHMAD LUTHFIN,M.Si
: Analisis dampak fenomena El Nino terhadap parameter NDVI dan LST di pulau Madura dengan menggunakan citra satelit landsat-8

bimbing 1

bimbing 2

si/Tesis/Disertasi

AS BIMBINGAN

Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1 November 2023	RUSLI,M.Si	Konsultasi Judul Skripsi	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
7 November 2023	RUSLI,M.Si	Konsultasi Bab I,II, dan III	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
1 November 2023	RUSLI,M.Si	ACC Seminar Proposal	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8 Desember 2023	RUSLI,M.Si	Revisi Seminar Proposal	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8 Mei 2024	RUSLI,M.Si	Konsultasi Bab IV dan V	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8 Mei 2024	AHMAD LUTHFIN,M.Si	Konsultasi Integrasi Bab I dan II	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5 Juli 2024	RUSLI,M.Si	Konsultasi Bab IV dan V	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
1 Juli 2024	RUSLI,M.Si	ACC Seminar Hasi	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
9 September 2024	AHMAD LUTHFIN,M.Si	Konsultasi Integrasi Bab IV	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5 September 2024	RUSLI,M.Si	Revisi Seminar Hasil	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
5 Oktober 2024	RUSLI,M.Si	Konsultasi Revisi Bab IV dan V	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
6 November 2024	AHMAD LUTHFIN,M.Si	Konsultasi integrasi Bab IV dan V	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2


AHMAD LUTHFIN,M.Si



Malang, _____
Dosen Pembimbing 1


RUSLI,M.Si