

**VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN SUHU UDARA SEBAGAI
PENYEBAB PERUBAHAN TUTUPAN MANGROVE DI KECAMATAN
PASIR SAKTI, KABUPATEN LAMPUNG TIMUR**

(Skripsi)

Oleh

**RIZKI ZANERA
NPM 1854221004**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN SUHU UDARA SEBAGAI PENYEBAB PERUBAHAN TUTUPAN MANGROVE DI KECAMATAN PASIR SAKTI, KABUPATEN LAMPUNG TIMUR

Oleh

RIZKI ZANERA

Penetapan sebuah pemahaman pada korelasi antara *normalized difference vegetation index* (NDVI), curah hujan dan suhu udara adalah hal yang vital untuk perencanaan aksi mengelola kestabilan hutan pada sebuah kawasan hutan mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk menilai dinamika perubahan tutupan mangrove di bawah pengaruh curah hujan dan suhu udara di kawasan hutan mangrove Register 15, Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Peneliti-an tersebut menggunakan data NDVI, curah hujan, dan suhu udara tahun 2012-2022. Hasil penelitian menunjukkan kejadian penurunan dan peningkatan curah hujan berdasarkan kategori kelas curah hujan yang diiringi dengan insiden kemarau ekstrim tahun 2015 dan 2019 selama periode data penelitian. Pola suhu udara yang terjadi menunjukkan suhu udara maksimum dan minimum yang terjadi dengan nilai tertinggi pada tahun 2015 (30,58 °C) dan yang terendah pada tahun 2014 (26,54 °C). Perubahan tutupan mangrove secara temporal dan spasial ditunjukkan oleh pelambatan kemampuan fase pemulihan vegetasi yang dipengaruhi oleh kemarau ekstrim tahun 2015 dan 2019 yang akhirnya berujung pada kematian mangrove yang terjadi setelah fase musim kemarau ekstrim pada tahun 2021.

Kata kunci : NDVI, curah hujan, suhu udara, mangrove

ABSTRACT

THE VARIABILITY OF RAINFALL AND AIR TEMPERATURE AS CAUSES OF CHANGES IN MANGROVE COVER AT PASIR SAKTI SUBDISTRICT, EAST LAMPUNG REGENCY

By

RIZKI ZANERA

Establishing an understanding of the correlation between NDVI toward rainfall and air temperature is vital thing for plan managing forest stability interventions in an area of mangrove forest. This study aimed to assess the dynamics of changes in mangrove cover under the influence of rainfall and air temperature at the mangrove area of Register 15, Purworejo Village, Pasir Sakti Subdistrict, East Lampung Regency for the period 2012-2022. The results of study showed the occurrence of a decrease and increase in rainfall based on the category of rainfall class accompanied by extreme dry season in 2015 and 2019 during the research data period. The air temperature pattern that occurred showed the maximum and minimum air temperatures that occurred with the highest value in 2015 (30,58 °C) and the lowest in 2014 (26,54 °C). Change in mangrove cover temporally and spatially indicated by a slowdown in the ability of the vegetation recovery phase influenced by the extreme drought in 2015 and 2019 which ultimately led to the death of mangroves in 2021.

Keywords : NDVI, rainfall, air temperature, mangrove

**VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN SUHU UDARA SEBAGAI
PENYEBAB PERUBAHAN TUTUPAN MANGROVE DI KECAMATAN
PASIR SAKTI, KABUPATEN LAMPUNG TIMUR**

Oleh

RIZKI ZANERA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Program Studi Ilmu Kelautan
Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN SUHU UDARA SEBAGAI PENYEBAB PERUBAHAN TUTUPAN MANGROVE DI KECAMATAN PA-SIR SAKTI KABUPATEN LAMPUNG TIMUR

Nama Mahasiswa : Rizki Zanera


No. Pokok Mahasiswa : 1854221004

Jurusan/Program Studi : Perikanan dan Kelautan/Ilm Kelautan

Fakultas : Pertanian




Menyetujui,
1. Komisi Pembimbing


Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.
NIP. 19750615 200212 1 007


Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.
NIP. 19900120 201903 1 011

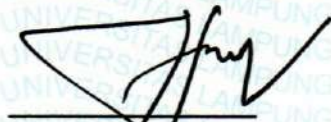
2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan
Universitas Lampung


Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.
NIP. 197008151999031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

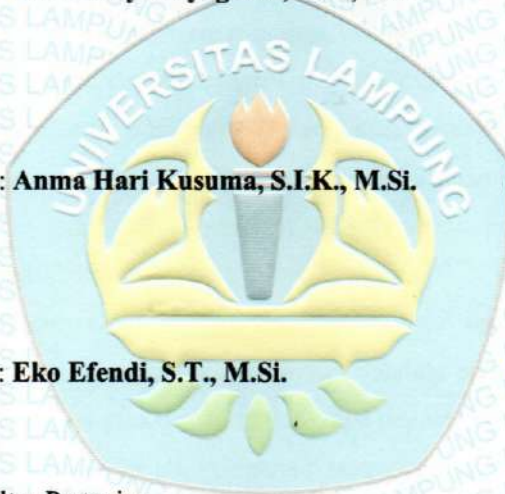
Ketua : **Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.**



Sekretaris : **Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.**



Anggota : **Eko Efendi, S.T., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. H. Kusyanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002



Tanggal lulus ujian skripsi : 22 Agustus 2024

PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana baik di Universitas Lampung maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan naskah, dengan naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Bandar Lampung, 15 Oktober 2024

Yang membuat pernyataan,



Rizki Zanera
NPM. 1854221004

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Daya Murni, Kecamatan Tumi Jajar, Kabupaten Tulang Bawang Barat, Provinsi Lampung, pada tanggal 15 Februari 1999, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Zainal Arifin dan Ibu Eryana. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 2 Tanjung Senang pada tahun 2007-2013, pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 19 Bandar Lampung pada tahun 2011-2014, dan pendidikan menengah kejuruan di SMK Negeri 2 Bandar Lampung pada tahun 2014-2017. Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana (S1) di tahun 2018 pada Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Perguruan Tinggi Negeri (SMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi anggota pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) Universitas Lampung dan penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sukarame, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung pada bulan Januari-Februari 2023. Penulis juga mengikuti kegiatan Praktik Umum (PU) di Dinas Perikanan Tulang Bawang, Provinsi Lampung pada bulan Juni-Agustus tahun 2022.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan berkah serta rahmat-Nya kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini.

Dengan ketulusan dan kerendahan hati, kupersembahkan skripsi ini sebagai tanda bukti kasih sayangku.

Untuk yang tersayang :

Bapakku Zainal Arifin dan Ibuku Eryana

Yang telah senantiasa melalui banyak perjuangan dan rasa sakit hanya untukku.

Terima kasih atas segala kasih sayang, nasihat, dan doa yang tidak pernah terputus, serta semangat dan dukungan moral maupun material kepada penulis selama penulisan skripsi dan proses pendidikan sarjana.

Saudara dan saudariku, Dian Putra Zanera dan Vivi Yuliantari Zanera, yang selalu memberikan dukungan, doa dan semangat.

Teman-teman di Jurusan Perikanan dan Kelautan, khususnya di Ilmu Kelautan 2018 yang telah berbagi tawa, tangis, dan perjuangan.

Serta,

Almamaterku tercinta,

Universitas Lampung.

MOTO

“Sungguh, engkau (Muhammad) tidak dapat memberi petunjuk kepada orang yang engkau kasihi, tetapi Allah memberi petunjuk kepada orang yang dia kehendaki, dan dia lebih mengetahui orang-orang yang mau menerima petunjuk”
(Q.S Al-Qasas, 28 : 56)

“Ilmu itu warisan para nabi dan harta itu warisan Qarun, Syaddad, Firaun, dan lainnya”
(Ali bin Abi Thalib)

“Ilmu yang baik adalah ilmu yang membawa kebaikan bagi diri dan orang lain”
(Imam Syafi’i)

“Ilmu adalah permata yang paling berharga. Carilah di manapun ia berada”
(Al-Khawarizmi)

“Learn from yesterday, live for today, hope for tomorrow. The important thing is not to stop questioning”
(Albert Einstein)

“Tak ada penyakit yang tak bisa disembuhkan kecuali kemalasan. Tak ada obat yang tak berguna selain kurangnya pengetahuan”
(Ibnu Sina)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Variabilitas Curah Hujan dan Suhu Udara sebagai Penyebab Perubahan Tutupan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur”. Shalawat serta salam tercurahkan kepada suri tauladan Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat, *tabi'ut tabi'in* serta kita selaku umatnya di akhir zaman. Skripsi ini dibuat dan diselesaikan untuk memenuhi syarat sebagai Sarjana Sains di Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi, penulis banyak mendapat dukungan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si., selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
3. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan dan sebagai pembimbing ketua yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, petunjuk, serta arahan kepada penulis;
4. Eko Efendi, S.T., M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan arahan kritik, saran, dan nasihat yang bermanfaat dalam proses penyelesaian skripsi;
5. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang

- telah memberikan bimbingan, petunjuk, serta arahan kepada penulis;
6. Kedua orang tua, Zainal Arifin dan Ibu Eryana, kakakku serta keluarga besar penulis yang tiada henti mengalirkan doa, motivasi, hingga dukungan secara moral maupun material kepada penulis;
 7. Teman-teman seperjuanganku, Fathan Al Fadhil, M Rizki Renaldi, Daffa Rizky Syafutra, Agung Mas, M Fadhil Priyambodo, Ismawan Adjie Prasetyo, M. Rizky Aditya, Dwi Puspitasari, Ima Mulani, Irene Laurensia, Noni Marina, dan rekan-rekan Ilmu Kelautan yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Bandarlampung, Oktober 2024

Rizki Zanera
NPM. 1854221004

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
2.1 Tujuan Penelitian	2
3.1 Manfaat Penelitian	3
4.1 Kerangka Pemikiran.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mangrove	5
2.2 Perubahan Iklim	7
2.3 Curah Hujan	10
2.4 Suhu Udara.....	12
2.5 Pengindraan Jauh	12
2.6 Citra Satelit Landsat 8 dan 7	19
2.7 Indeks Vegetasi NDVI (<i>normalized difference vegetation index</i>).....	22
III. METODELOGI PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan.....	25
3.3 Jenis dan Sumber Data	25
3.4 Prosedur Pengolahan Data	26
3.4.1 Pra Pengolahan Citra	27
3.4.2 Pengolahan Citra	27
3.5 Analisis Data.....	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.2 Hubungan Curah Hujan dan Suhu Udara.....	29
4.3 Perubahan Spasial dan Temporal pada Kerapatan Tutupan mangrove terhadap Pengaruh Curah Hujan dan Suhu Udara	39

V. KESIMPULAN DAN SARAN	93
5.2 Kesimpulan	93
4.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	94

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik <i>band</i> citra Landsat 8	19
2. Karakteristik <i>band</i> citra Landsat 7	21
3. Kelas indeks vegetasi Landsat 8 (NDVI).....	22
4. Kelas indeks vegetasi Landsat 7 (NDVI).....	22
5. Alat yang digunakan pada penelitian	25
6. Bahan yang digunakan pada penelitian.....	25
7. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2012.....	40
8. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2013.....	44
9. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2014.....	49
10. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2015.....	56
11. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2016.....	62
12. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2017.....	62
13. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2018.....	67
14. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2019.....	73
15. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2020.....	80
16. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2021	84
17. Luasan kelas kerapatan tingkat kehijauan mangrove tahun 2022.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian	4
2. Perubahan tutupan hutan mangrove di Pasir Sakti tahun 1973-2013	6
3. Ekosistem hutan mangrove	6
4. Peta selisih curah hujan periode 1991-2020 dengan 1981-2010 wilayah Indonesia	9
5. Anomali dan suhu udara rata-rata tahunan periode 1981-2022	9
6. Tiga wilayah iklim Indonesia.....	11
7. Komponen-komponen sistem pengindraan jauh.....	13
8. Karakteristik spektral dari sumber energi, transmisi atmosfer, dan sistem pengindraan jauh umum.....	15
9. Kurva reflektansi spektral untuk berbagai jenis fitur.....	17
10. Peta lokasi penelitian.....	24
11. Pengolahan peta NDVI mangrove, curah hujan, dan suhu udara	26
12. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2012.....	30
13. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2013.....	31
14. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2014.....	32
15. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2015.....	33
16. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2016.....	34
17. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2017.....	35

18. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2018.....	36
19. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2019.....	37
20. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2020.....	38
21. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2021.....	38
22. Curah hujan dan suhu udara di kawasan mangrove Register 15, Lampung Timur tahun 2022.....	39
23. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2012.....	42
24. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2013.....	47
25. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2014.....	53
26. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2015.....	61
27. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2016 dan 2017.....	65
28. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2018.....	71
29. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2019.....	79
30. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2020.....	82
31. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2021.....	85
32. Peta kerapatan mangrove terhadap curah hujan dan suhu udara tahun 2022.....	92

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ekosistem mangrove memiliki peran penting dalam melestarikan keberlanjutan flora dan fauna. Sumber daya ini memiliki kontribusi sebagai sumber pencarian yang menguntungkan bagi masyarakat pesisir. Hutan mangrove memiliki kemampuan bertahan hidup di kondisi ekstrim pada toleransi salinitas tertentu dengan varietas tingkat taksonomi dan dapat ditemukan di zona intertidal area pesisir (Polidoro *et al.*, 2010). Kondisi wilayah tersebut menjadikan mangrove sangat rentan terhadap perubahan iklim, seperti dampak pemanasan global. Peningkatan suhu permukaan global telah terjadi sejak tahun 1850-1900 sebesar 1,09 °C dan kemungkinan peningkatan berlanjut hingga 1,5 °C selama tahun 2021-2040 (IPCC, 2021). Siklus La Nina mempunyai efek pendinginan pada pemanasan global, tetapi ini tidak bisa mengundurkan laju tren pemanasan dalam jangka panjang. Kejadian secara global setelah peristiwa utama La Nina yang terjadi di tahun 2010/2011 menunjukkan kondisi suhu pada tahun 2022 lebih panas dari tahun 2011 dan sedikit lebih panas dari tahun 2021 (MSS, 2022).

Perubahan secara relatif pada ketinggian permukaan air laut, temperatur air laut, salinitas, dan kondisi hidrodinamika tidak muncul pengaruhnya secara langsung pada hutan mangrove. Munculnya pengaruh tersebut disebabkan oleh perubahan iklim khususnya variasi suhu udara merupakan penggerak utama yang mengontrol perkembangan mangrove. Peningkatan temperatur mempunyai pengaruh terhadap perkembangan mangrove apabila dibarengi oleh frekuensi dan intensitas dari peristiwa cuaca ekstrim seperti kemarau (Das *et al.*, 2022). Menurut BMKG (2022) anomali iklim berupa kemarau ekstrim secara meteorologis yang terjadi pada rentang tahun 2011-2020 memberikan dampak yang serius di berbagai wilayah Indonesia yang salah satunya di wilayah Kabupaten Lampung Timur, Provinsi

Lampung. Kekeringan meteorologis yang terjadi di tahun 2015 dan 2019 merupakan kekeringan terekstrem dan terluas selama dekade terakhir.

Dampak perubahan iklim sebagian besar terbukti dimana mangrove mempunyai keberadaan yang secara keseluruhan tidak terjamah oleh antropogenik (Asbridge *et al.*, 2015). Kawasan hutan mangrove di Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur dikelola dengan baik selama tahun 2012-2021 oleh kelompok masyarakat Mutiara Hijau 1 di bawah naungan pemerintah. Kelompok yang disokong pemerintah tersebut berupaya menjaga dan mengontrol kondisi kawasan hutan mangrove tersebut agar tetap lestari dalam upaya mencegah pengaruh antropogenik (Lestari *et al.*, 2024).

Pemanfaatan penginderaan jauh diperlukan untuk mengetahui dampak perubahan yang telah terjadi di masa lalu tersebut secara efektif dan efisien. *normalized difference vegetation index* (NDVI) adalah suatu indikator penting untuk mengukur cakupan luasan vegetasi dan sebuah awalan yang penting dalam penelitian tutupan lahan secara global dan regional untuk mengetahui perubahan dinamika vegetasi dan perubahan fenologi (Higginbottom, 2014). Dampak perubahan iklim global yang terbukti terjadi di berbagai wilayah negara lain mungkin dapat berdampak terhadap eksistensi mangrove di Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Penelitian ini diperlukan untuk mengetahui seberapa jauh dampak perubahan iklim berupa perubahan curah hujan dan suhu udara terhadap ekosistem mangrove di wilayah Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasi Sakti, Kabupaten Lampung Timur.

1.2 Tujuan

Penelitian ini dilakukan bertujuan :

1. Menganalisis perubahan pola curah hujan dan suhu udara di kawasan hutan mangrove Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.

2. Menganalisis dinamika perubahan tutupan mangrove di bawah pengaruh curah hujan dan suhu udara di kawasan hutan mangrove Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.

1.3 Manfaat Penelitian

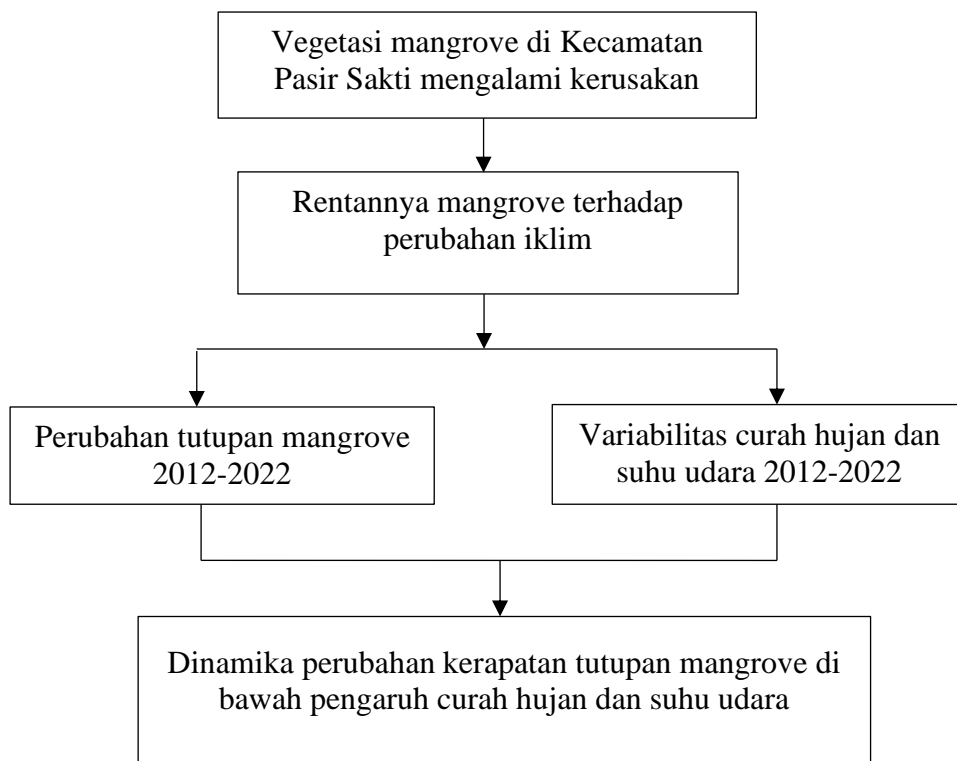
Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat, para peneliti yang akan meneliti kembali tempat tersebut, dan *stake holder* lainnya mengenai wilayah yang mengalami perubahan tutupan mangrove akibat pengaruh kondisi curah hujan dan suhu. Penelitian tersebut dilakukan pada tahun 2012-2022 di Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Penelitian yang dihasilkan tersebut diharapkan informasinya dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengelolaan hutan mangrove ke depannya.

1.4 Kerangka Pemikiran

Perubahan kawasan hutan mangrove dapat disebabkan oleh pengaruh alam dan nonalam. Dinamika perubahan tersebut yang salah satunya dipercaya disebabkan perubahan iklim secara global. Dampak perubahan iklim tersebut diduga menyasar pula pada kawasan hutan mangrove di Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur, namun belum ditemukan adanya data pendukung mengenai fenomena tersebut. Pentingnya mengetahui dampak perubahan iklim dalam periode waktu tertentu yang dapat memengaruhi keberlanjutan dan kestabilan ekosistem mangrove. Itu merupakan suatu hal yang mendasar untuk memperkirakan dampak perubahan iklim pada hutan mangrove di masa yang akan datang.

Pada pengamatan ekosistem hutan mangrove di Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti dengan menggunakan citra satelit memperlihatkan kerusakan pada area hutan mangrove yang terjadi pada tahun 2022. Fenomena perubahan iklim yang memengaruhi pola curah hujan dan suhu udara yang menyasar pada mangrove menyebabkan vegetasi tersebut rentan terhadap dampak negatif dari peristiwa tersebut. Pendugaan tersebut masih terbilang lemah karena kurangnya informasi pendukung di masa lampau. Minimnya informasi mengenai hal tersebut menjadi

dasar diwujudkan penelitian ini untuk mengetahui kondisi di masa lampau secara *time-series* dengan menggunakan pengindraan jauh. Penelitian tersebut memerlukan data pendukung seperti NDVI, curah hujan, dan suhu udara. NDVI digunakan untuk mengetahui kerapatan tutupan mangrove. Curah hujan dan suhu udara merupakan variabel iklim pendukung pertumbuhan mangrove. Suatu hal yang penting untuk mengetahui dinamika perubahan tutupan mangrove dibawah pengaruh curah hujan dan suhu udara.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

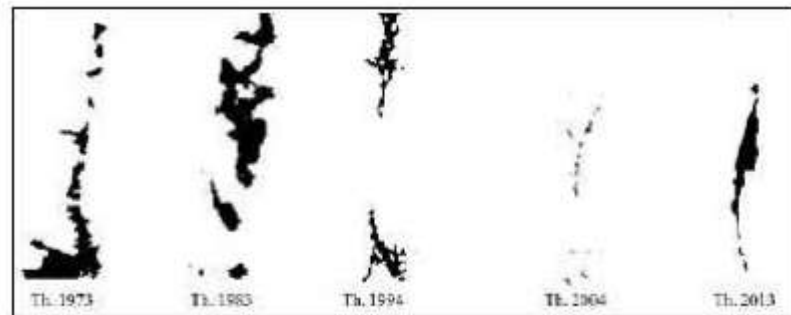
2.1 Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti

Hutan mangrove didefinisikan sebagai kelompok tumbuhan berbunga yang tumbuh di kawasan pasang surut dan banyak dijumpai di sepanjang delta, estuaria, atau laguna yang terlindung, sering tumbuh dalam tegakan padat dengan sistem perakaran yang kompleks, serta dengan tanah anaerob dan asam (Fuady *et al.*, 2013). Mangrove yang tumbuh dengan baik di lingkungan yang ekstrim merupakan tumbuhan yang cocok untuk hidup di lingkungan tersebut. Mangrove memiliki beberapa metode untuk mendapatkan air tawar dari air laut, seperti dengan menyerap air asin dari akar dan membuang kelebihan garam di daun dengan menggunakan kelenjar ekskresi garam (terutama pada genus *Avicennia* sp., *Aegiceras* sp., dan *Aegialitis* sp.).

Sebaran spasial mangrove (Gambar 2) pada rentang tahun 1973 ke tahun 2013 menunjukkan tutupan dan distribusi yang berbeda-beda. Pada tahun 1973 tutupan mangrove cenderung tebal di daerah selatan (hingga Desa Sumur Kucing), sedangkan pada tahun 1983 cenderung tebal di daerah utara (Desa Purworejo hingga Desa Pasir Sakti). Pada tahun 1994 tutupan mangrove dideteksi berada di daerah utara dan daerah selatan, namun di Desa Purworejo justru tidak ditemukan adanya tutupan mangrove.

Pada tahun 2004 tutupan mangrove di Pasir Sakti nyaris lenyap dan hanya tersisa titik-titik kecil saja di Desa Purworejo. Pada tahun 2013 sisa mangrove yang berada di Desa Purworejo muncul dengan kondisi yang terlihat tebal. Penurunan luasan tutupan mangrove di Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur selama rentang tahun 1983 ke tahun 2004 terjadi seiring dengan

adanya aktivitas masyarakat yang lebih besar daripada aktivitas di tahun-tahun sebelumnya yang terjadi di lokasi setempat (Yuliasamaya *et al.*, 2014).



Gambar 2. Perubahan tutupan hutan mangrove di Pasir Sakti tahun 1973-2013.
Sumber :Yuliasamaya *et al.*, (2014).

Peningkatan kembali luasan tutupan mangrove di Pasir Sakti selama rentang tahun 2004 ke tahun 2013 terjadi seiring dengan ditetapkannya Perda Kabupaten Lampung Timur Nomor : 03 Tahun 2002 tentang rehabilitasi pesisir, pantai, dan laut dalam wilayah Kabupaten Lampung Timur serta aktivitas masyarakat pelestari mangrove di daerah setempat. Tipe substrat di kawasan mangrove Register 15 termasuk ke dalam lumpur berpasir. Jenis pohon mangrove terbanyak yaitu *Avicennia marina* sekitar 0,02 ind/m² dan *Avicennia officialis* sebanyak 0,054 ind/m². Suhu perairan sekitar mangrove berkisar 27,8-30,3 °C dengan kadar oksigen terlarut (DO) rata-rata 3,53-3,89 mg/L (Muharram *et al.*, 2021).



Gambar 3. Ekosistem hutan mangrove.
Sumber : Marwoto *et al.*, (2020).

Mangrove memiliki batas toleransi suhu permukaan laut minimal sebesar 24 °C. Mangrove yang tumbuh di habitat dengan suhu lebih rendah dari suhu minimal tersebut menyebabkan spesies mangrove akan sulit sekali beradaptasi dan tidak dapat tumbuh. Faktor arus dan gelombang secara langsung memiliki pengaruh terhadap sedimen mangrove dan persebarannya. Ombak yang relatif tenang akan membantu persebaran bibit mangrove dan akumulasi sedimen yang berguna untuk nutrisi mangrove itu sendiri.

2.2 Perubahan Iklim

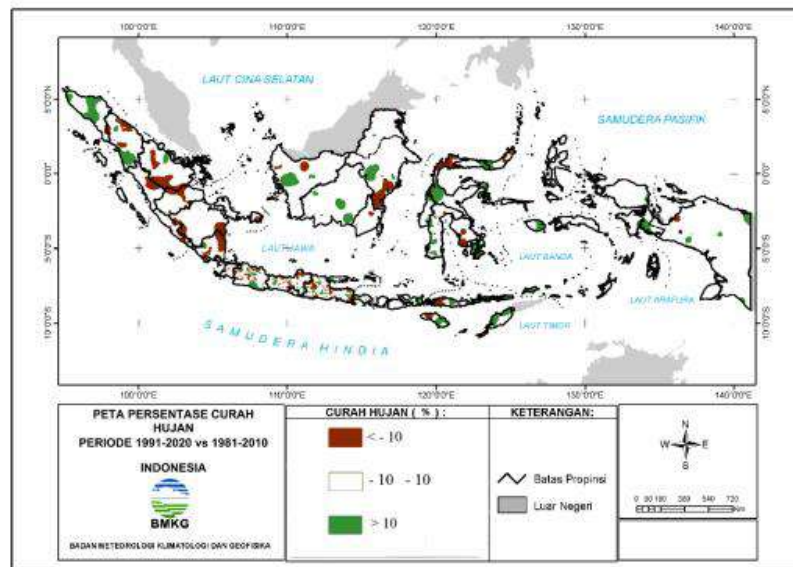
Perubahan iklim merupakan perubahan yang dapat terkait dengan aktivitas manusia secara langsung, maupun tidak langsung yang dapat menyebabkan perubahan pada komposisi atmosfer global dan yang merupakan tambahan dari variabilitas iklim alami yang diamati selama periode waktu yang sebanding. Selama periode 1880 hingga 2010, secara global rata-rata suhu lahan campuran dan lautan mengalami peningkatan sebesar 0,85 (0,65-1,06) °C dan akhir abad ke-21 adalah kemungkinan terjadi peningkatan yang lebih jauh lagi sebesar 3,2-3,4 °C. Tingkat pemanasan lautan secara signifikan lebih rendah dari daratan karena ketinggian spesifikasi kapasitas panas dari air dan peningkatan evaporasi. Curah hujan global pada permukaan daratan terestrial telah mengalami peningkatan hampir 2 % sejak 1900, dengan level distribus spasial yang tidak sama. Curah hujan meningkat sebesar 0,5-1 % setiap 10 tahun lebih selama abad ke-20 pada sebagian besar lintang tengah dan tinggi dari belahan bumi bagian utara (Asbridge *et al.*, 2015).

Perubahan lambat dalam frekuensi dan intensitas curah hujan mungkin mempunyai efek minim dan lebih kecil pada mangrove dalam jangka pendek dibandingkan dengan mengalami seperti peristiwa kemarau dan banjir. Perubahan dalam jangka panjang dalam pola curah hujan akan memengaruhi distribusi mangrove, keberagaman spesies, struktur, pertumbuhan, dan produktivitas sebagai fungsi dari toleransi fisiologis. Peningkatan suhu juga berbanding lurus dengan peningkatan untuk luasan mangrove, produksi bunga, produktivitas mangrove yang pulih, periode berbunga, panjang, dan frekuensi dari berbuah dan periode penyebaran propagul intensitas pertumbuhan dan perkembangan. Peningkatan suhu tetap

berlanjut hingga masa yang akan datang dapat memberikan efek yang merusak terhadap mangrove, seperti tingginya stres pada daun dan kehilangan cadangan air pada daun. Dukungan masukan air hujan serta aliran sungai secara spasial dan temporal yang tidak terjadi dapat memengaruhi stres fisiologis terhadap mangrove dan luasan ruang mungkin terjadi perubahan yang lebih besar (As-bridge *et al.*, 2015).

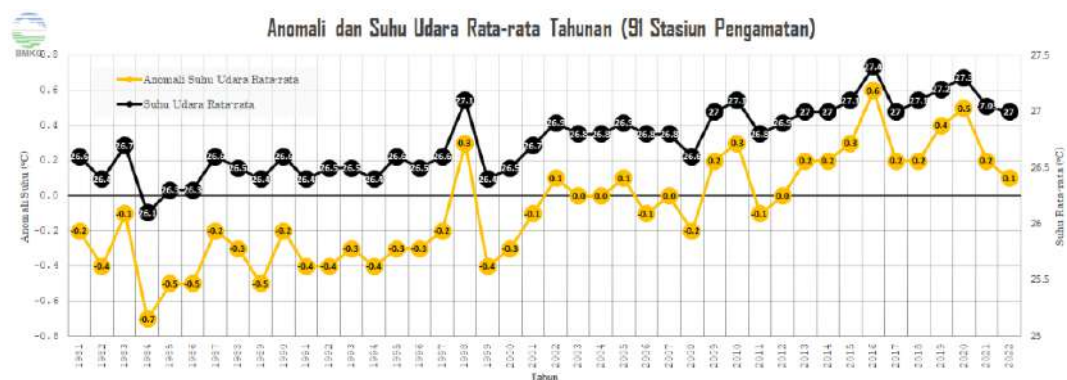
Faktor penyebab mangrove yang mengalami penurunan hingga menyebabkan kematian mengarah pada faktor iklim sebagai penyebab mangrove mengalami stres termasuk peristiwa abnormal, seperti peningkatan salinitas akibat meningkatnya suhu, curah hujan, dan kelembaban yang di bawah normal, permukaan laut di bawah normal dalam jangka waktu lama (Abhik *et al.*, 2021). Menurut IPCC (2014) kunci dari perubahan iklim dan sirkulasi lautan yang diakui memiliki dampak terhadap ekosistem mangrove di *Caribbean SIDS (small island developing states)* di antaranya :

- Perbedaan suhu di atmosfer dan lautan
- Kimiawi lautan
- Curah Hujan
- Arah dan kekuatan angin
- Permukaan laut dan iklim gelombang laut (terutama kejadian ekstrim, seperti badai, kemarau, dan peningkatan abnormal level air laut) (Wilson, 2017).



Gambar 4. Peta selisih curah hujan periode 1991-2020 dengan 1981-2010 wilayah Indonesia.
Sumber : BMKG (2021).

Rata-rata curah hujan tahunan periode 1991-2020 umumnya mengalami perubahan yang kecil yang mana bila dibandingkan dengan rata-rata curah hujan tahunan periode 1981-2010. Menurut BMKG (2021) daerah yang dominan mengalami penurunan curah hujan tahunan di antaranya Sumatera bagian tengah hingga selatan, pantai utara Jawa, Kalimantan bagian timur, dan Sulawesi bagian utara dan tenggara



Gambar 5. Anomali dan suhu udara rata-rata tahunan periode 1981-2022.
Sumber : BMKG (2021).

Suhu udara yang berada pada kisaran normal periode 1991-2020 di Indonesia memiliki nilai sebesar 26,8 °C (Gambar 5). Berdasarkan grafik anomali dan suhu udara rata-rata tahunan periode 1981-2022 (Gambar 5) menunjukkan anomali berupa peningkatan suhu udara yang mana pada periode dari 1981-2009 berada pada kisaran normal, namun dari periode 2010-2022 terjadi lonjakan suhu udara rata-rata tahunan. Hal tersebut ditunjukkan oleh anomali suhu udara tahun 2016 sebesar 0,6 °C sepanjang periode pengamatan 1981 hingga 2022, sedangkan tahun 2020 dan 2019 berada di peringkat kedua dan ketiga dengan nilai anomali sebesar 0,5 °C dan 0,4 °C. Keadaan tersebut menjelaskan adanya tren kenaikan suhu udara rata-rata dari periode 1981-2022 (BMKG, 2021).

2.3 Curah Hujan

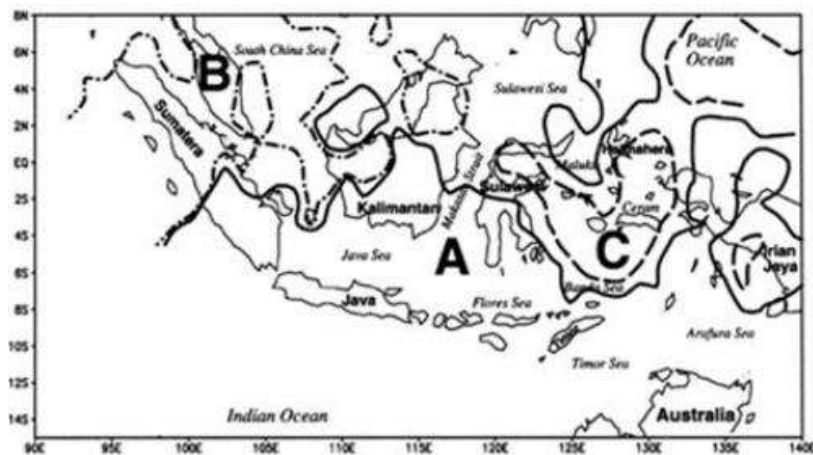
Menurut Damanik *et al.*, (2015) curah hujan adalah banyaknya air yang jatuh di tanah datar pada kurun waktu tertentu yang jika tidak terjadi penguapan, limpasan serta resapan, diukur dalam satuan ketinggian di atas permukaan air (mm). Curah hujan 1 mm adalah pada suatu daerah datar seluas 1 m² akan terkumpul 1 mm air atau 1 L atau 1.000 mililiter air.

Curah hujan terbentuk ketika udara yang terakumulasi air mengalami peningkatan panas, sehingga menyebabkan penguapan naik. Ketika masa udara yang naik tersebut terus mengalami penurunan suhu yang akhirnya terjadi pengembunan dan terbentuknya awan konvektif, sehingga menghasilkan hujan yang jatuh (Selase *et al.*, 2015). BMKG membagi kelas curah hujan bulanan menjadi 9 kelas curah hujan, yaitu rendah (0-20 mm, 21-50 mm, 51 -100 mm), menengah (101 – 150 mm, 151 – 200 mm, 201- 300 mm), tinggi (301 -400 mm), dan sangat tinggi (401-500 mm dan >500 mm) (Pattipeilohy *et al.*, 2021).

Indonesia terbagi menjadi 3 pola iklim utama, yaitu curah hujan pola musonal, curah hujan pola ekuatorial, dan curah hujan pola lokal (Gambar 6) (Aldrian dan Susanto, 2003). Pola monsun dicirikan oleh tipe curah hujan yang bersifat unimodial (satu puncak musim hujan) dimana pada bulan Juni, Juli, dan Agustus terjadi musim kering, sedangkan untuk bulan Desember, Januari, dan Februari

merupakan bulan basah. Pada enam bulan sisanya merupakan periode peralihan atau pancaroba (tiga bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan dan tiga bulan peralihan musim hujan ke musim kemarau).

Daerah yang didominasi oleh pola monsun ini berada di daerah Sumatra bagian selatan, Kalimantan Tengah dan Selatan, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, dan sebagian Papua (Hermawan, 2010). Daerah Lampung termasuk dalam kategori wilayah dengan pola hujan monsunial karena berada pada wilayah Sumatera bagian selatan. Pola ekuatorial dicirikan oleh tipe curah hujan dengan bentuk bimodial (dua puncak hujan) yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober atau pada saat terjadi ekuinoks meliputi Pulau Sumatra bagian tengah dan utara serta Pulau Kalimantan bagian utara (Hermawan, 2010). Pola lokal unimodial yang dicirikan oleh bentuk pola hujan yang berlawanan dengan tipe hujan monsun yang mana daerahnya hanya meliputi daerah Maluku, Sulawesi, dan sebagian Papua (Hermawan, 2010).



Gambar 6. Tiga wilayah iklim indonesia.

Keterangan : Wilayah A (monsun) garis hitam; Wilayah B (ekuatorial) garis dan titik; Wilayah C (lokal) garis putus-putus.

Sumber : Aldrian dan Susanto (2003).

2.4 Suhu Udara

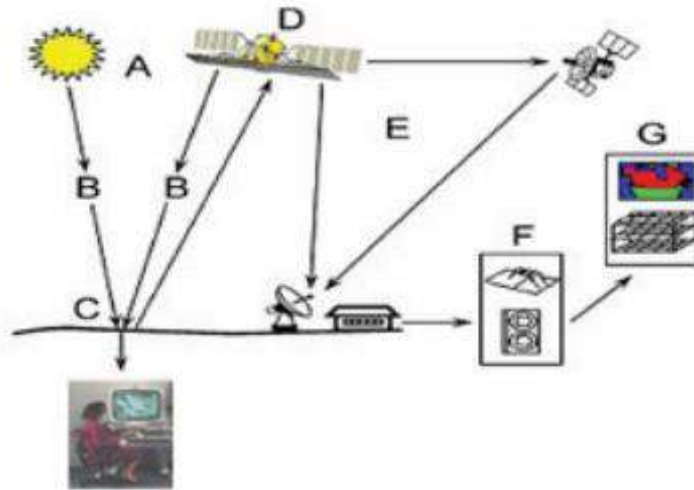
Suhu menunjukkan gambaran umum energi kinetik suatu objek, demikian juga dengan suhu udara. Pada bentuk energi tidak semua yang dikandung suatu objek dapat diwakili oleh suhu. Sebagai contoh adalah energi panas laten udara. Suhu udara hanya menunjukkan kondisi atau manifestasi dari panas terasa. Energi panas terasa tergantung dari perbedaan suhu permukaan dan suhu udara, kerapatan udara, kapasitas panas udara, dan hambatan tahanan aerodinamisnya. Hal ini menggambarkan bahwa besarnya suhu udara dipengaruhi oleh beberapa hal tersebut.

Suhu permukaan bukanlah suhu udara. Nilai aktual keduanya bisa jauh berbeda dan bervariasi menurut ruang dan waktu. Suhu permukaan berpengaruh terhadap fluks bahang terasa (*sensible heat*) terutama pada siang hari karena suhu permukaan benda lebih tinggi dari suhu udara. Suhu udara akan berfluktuasi dengan nyata selama setiap periode 24 jam. Fluktuasi suhu udara berkaitan erat dengan proses pertukaran energi yang berlangsung di atmosfer. Sebagian dari radiasi matahari pada siang hari akan diserap oleh gas-gas atmosfer dan partikel-partikel padat yang melayang di atmosfer. Serapan energi radiasi matahari akan menyebabkan suhu udara meningkat. Suhu udara harian maksimum tercapai beberapa saat setelah intensitas cahaya maksimum tercapai. Intensitas cahaya maksimum tercapai pada saat berkas cahaya jatuh tegak lurus, yakni pada waktu tengah hari (Desi, 2011).

2.5 Pengindraan Jauh

Pengindraan jauh adalah ilmu dan seni yang menggunakan alat bantu untuk memperoleh data atau informasi tentang objek atau fenomena tanpa melakukan kontak langsung dengan objek tersebut. Pengindraan jauh merupakan suatu sistem yang terbangun oleh beberapa komponen yang saling mendukung. Menurut Hadi (2019) komponen sistem pengindraan jauh terdiri atas sumber energi, radiasi (melalui atmosfer), interaksi (tenaga dan objek), sensor perekam, transmisi, resepsi,

pemrosesan, interpretasi, analisis (operator), dan aplikasi. Sistem penginderaan jauh diilustrasikan oleh Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Komponen-komponen sistem penginderaan jauh.
Sumber : Hadi (2019).

Penginderaan jauh sistem aktif atau sistem pasif memerlukan sumber tenaga. Ada dua sistem tenaga dalam penginderaan jauh, yaitu sistem sensor aktif dan sistem sensor pasif. Sistem sensor aktif adalah sistem sensor yang menggunakan sumber tenaga yang terintegrasi dengan wahana, sedangkan sistem sensor pasif, memerlukan energi matahari sebagai sumber daya utama yang dibutuhkan satelit yang tidak terintegrasi pada wahana. Matahari memiliki energi dan bergerak di atmosfer dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari tidak semuanya mencapai permukaan bumi. Interaksi tenaga dengan objek inilah yang direkam oleh sensor. Interaksi memengaruhi kecerahan gambaran objek pada citra (Hadi, 2019).

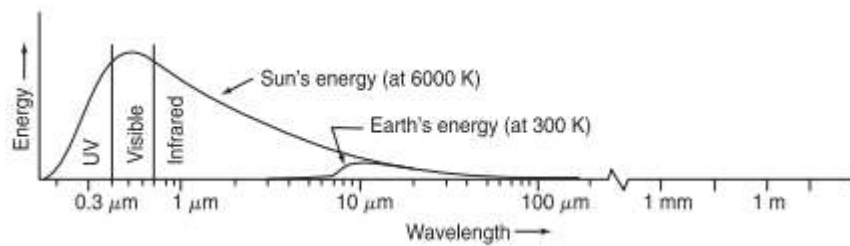
Perolehan data maksudnya adalah cara memperoleh ekstraksi data dari citra. Pengguna (manusia) merupakan salah satu komponen penginderaan jauh yang sangat menentukan kualitas terapan penginderaan jauh. Informasi adalah hal yang dicari dalam kegiatan penginderaan jauh. Dalam usaha memperoleh informasi tersebut tidak terjadi kontak langsung dengan objek, fenomena, atau area yang hendak dicari informasinya. Perolehan informasi dilakukan berdasarkan interpretasi

dari data (citra) dengan menggunakan teknik analisis tertentu, baik secara visual maupun digital (Hadi, 2019).

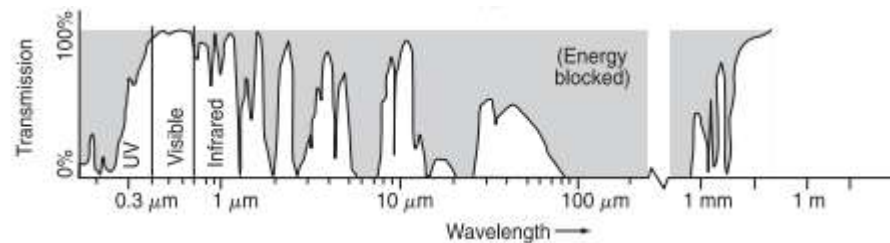
Energi elektromagnetik adalah paket elektrisitas dan kemagnetan yang bergerak dengan kecepatan cahaya pada frekuensi dan panjang gelombang tertentu. Hal tersebut menunjukkan bahwa energi radiasi yang dalam bentuk gelombang elektromagnetik memancarkan berbagai panjang gelombang dengan kecepatan yang bersifat tetap. Energi elektromagnetik oleh matahari dipancarkan dengan suhu yang tinggi dan membentuk energi elektromagnetik yang berhubungan dengan suatu nilai panjang gelombang dan frekuensi (Hadi, 2019).

Sensor merupakan alat perekam gelombang elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh objek di permukaan bumi. Kemampuan suatu sensor untuk merekam objek terkecil dan menyajikannya pada citra sehingga dapat dikenali disebut resolusi spasial. Beberapa dari gelombang elektromagnetik ini akan dipantulkan, diserap, dan ditransmisikan. Interaksi tenaga elektromagnetik dengan benda-benda di permukaan bumi direkam oleh sensor. Interaksi memengaruhi kecerahan gambaran objek pada citra. Bentuk interaksi tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal seperti tingkat kekasaran permukaan objek, jenis material, kelembaban objek, dan waktu. Objek yang banyak memantulkan atau memancarkan tenaga elektromagnetik akan tergambar cerah, sebaliknya objek yang sedikit memantulkan atau memancarkan tenaga akan tergambar gelap pada citra (Hadi, 2019).

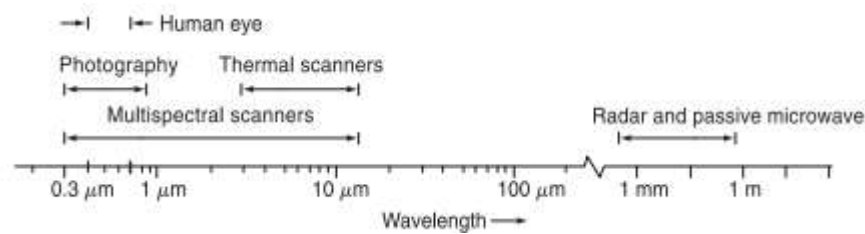
Band sebenarnya digunakan untuk menyebut bagian yang lebih sempit dari spektrum, misalnya pada spektrum tampak terdapat *band* biru, *band* hijau, dan *band* merah. Spektrum yang digunakan oleh pengindraan jauh adalah spektrum ultraviolet fotografik (0,3–0,4 μm), spektrum *visible* (0,4–0,7 μm), inframerah (0,7–3 μm), tetapi yang digunakan dalam pengindraan jauh (0,7–0,9 μm), inframerah termal (0,9–14 μm), dan gelombang mikro (0,3–300 cm). Panjang gelombang ultraviolet yang sebenarnya diketahui berada pada 0,3–0,4 μm , tetapi 0,3 μm terserap oleh atmosfer. Panjang gelombang mikro yang biasa digunakan untuk sistem radar biasanya 0,8–100 cm (Hadi, 2019).



(a) Sumber energi



(b) Transmisi atmosfer



(c) Sistem pengindraan jauh umum

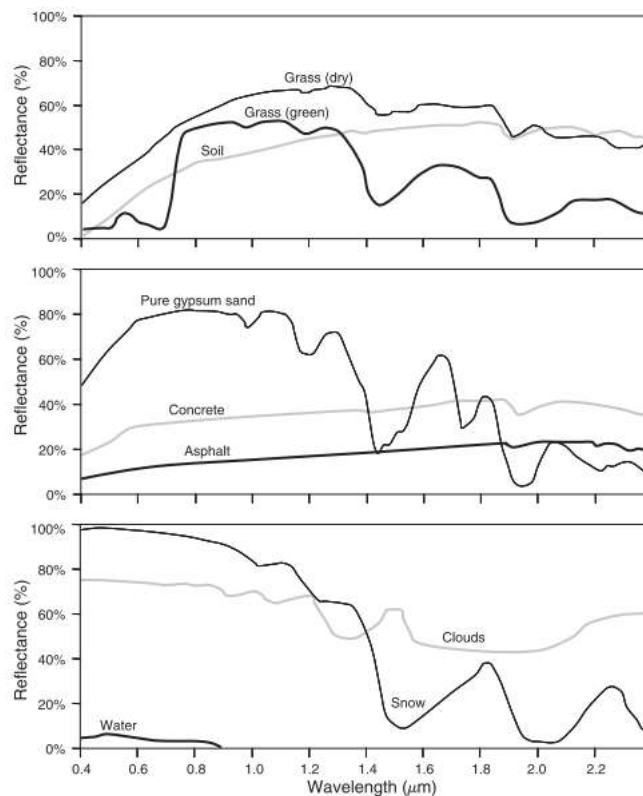
Gambar 8. Karakteristik spektral dari sumber energi, transmisi atmosfer, dan sistem pengindraan jauh umum.

Sumber : Lillesand *et al.* (2015)

Penyerapan atmosfer mengakibatkan hilangnya energi efektif ke komponen atmosfer. Ini biasanya melibatkan penyerapan energi pada sebuah panjang gelombang yang diberikan. Penyerap radiasi matahari yang paling efektif dalam hal ini adalah uap air, karbon dioksida, dan ozon. Gas-gas tersebut cenderung menyerap energi elektromagnetik di *band-band* pada panjang gelombang tertentu, sehingga sangat kuat memengaruhi rancangan dari berbagai sistem pengindraan jarak jauh. Rentang panjang gelombang dimana atmosfer secara khusus mentransmisikan energi disebut jendela atmosfer (Lillesand *et al.*, 2015).

Gambar 8 menunjukkan interaksi antara sumber energi dan karakteristik penyerapan atmosfer. Pada sumber energi (Gambar 8 a) menunjukkan distribusi spektral dari energi yang dipancarkan oleh matahari dan fitur bumi. Pada kedua kurva tersebut mewakili sumber energi yang paling umum yang digunakan dalam penginderaan jauh. Pada bagian transmisi atmosfer (Gambar 8 b) dari area spektral di mana atmosfer menghalangi energi ditunjukkan pada bagian yang diarsir. Akuisisi data penginderaan jauh dibatasi pada area spektral yang tidak terhalang disebut jendela atmosfer. Pada sistem penginderaan jarak jauh (Gambar 8 c) menunjukkan jangkauan sensitivitas spektral visual bertepatan dengan jendela atmosfer dan puncak tingkatan energi dari matahari (Lillesand *et al.*, 2015).

Pancaran energi "panas" dari bumi ditunjukkan oleh kurva kecil (a) adalah yang terdeteksi melalui jendela pada panjang gelombang 3-5 μm dan 8-14 μm dengan menggunakan perangkat, seperti sensor termal. Sensor multispektral mengamati objek secara simultan melalui beberapa rentang panjang gelombang yang sempit yang dapat ditempatkan di berbagai titik dalam cahaya tampak melalui wilayah spektral termal. Radar dan sistem gelombang mikro pasif beroperasi melalui jendela di area 1 mm ke 1 m (Lillesand *et al.*, 2015).



Gambar 9. Kurva reflektansi spektral untuk berbagai jenis fitur.

Sumber : Lillesand *et al.* (2015)

Gambar 9 menampilkan kurva reflektansi spektral yang umum untuk berbagai jenis fitur : *healthy green grass*, *dry (non-photosynthetically active) grass*, *bare soil (brown to dark-brown sandy loam)*, *pure gypsum dune sand*, aspal, beton struktur (beton semen portland), salju berbutir halus, awan, dan air danau jernih. Garis-garis di dalam gambar ini mewakili kurva reflektansi rata-rata yang disusun dengan mengukur fitur sampel yang besar, atau dalam beberapa kasus terdapat pengukuran reflektansi perwakilan dari satu contoh khas kelas fitur (Lillesand *et al.*, 2015).

Kurva reflektansi spektral untuk kesehatan vegetasi hijau hampir selalu manifestasi bentuk “puncak dan lembah” diilustrasikan oleh *grass green* (Gambar 9). Lembah pada bagian spektrum yang tampak ditentukan oleh pigmen-pigmen dalam daun-daun tumbuhan. Permisalan dari klorofil yang mana menyerap energi secara kuat pada *band-band* panjang gelombang berpusat pada sekitar $0,45 \mu\text{m}$ dan $0,67 \mu\text{m}$. Produksi klorofil yang rendah mengakibatkan penyerapan klorofil

yang rendah di *band red* dan *blue*. Reflektansi *red* meningkat terjadi ketika tumbuhan berubah menjadi kuning (kombinasi hijau dan merah). Ini dapat terlihat di kurva spektral untuk *grass (dray)* pada Gambar 9 (Lillesand *et al.*, 2015).

Kurva *soil* (Gambar 9) menampilkan variasi puncak dan lembah yang jauh lebih sedikit dalam reflektansinya. Hal tersebut disebabkan oleh faktor-faktor seperti kadar air, kandungan bahan organik, tekstur tanah (proporsi pasir, lanau dan lumpur) kekasaran permukaan, dan keberadaan oksida besi yang memengaruhi reflektansi tanah yang bekerja pada *band-band* yang kurang spesifik. *Sand* dapat mempunyai variasi yang luas dalam pola reflektansi spektralnya. Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 9 adalah dari sebuah bukit pasir di New Mexico dan terdiri dari sekitar 99% gipsum dengan sedikit kuarsa. Fitur penyerapan dan reflektansinya pada dasarnya serupa dengan induk materialnya, yaitu gipsum (Lillesand *et al.*, 2015).

Gambar 9 menunjukkan kurva reflektansi spektral untuk aspal dan semen portland yang berwujud jauh lebih datar daripada kurva reflektansi spektral untuk bahan yang dibahas sejauh ini. Salju memantulkan cahaya yang sangat kuat di spektrum tampak dan *near infrared* serta menyerap lebih banyak energi pada panjang gelombang *mid-infrared*. Butiran salju yang lebih besar menyerap banyak energi terutama pada panjang gelombang yang lebih dari $0,8 \mu\text{m}$. Pada awan memiliki reflektansi yang jauh lebih tinggi daripada salju dengan panjang gelombang lebih dari $1,4 \mu\text{m}$ (Lillesand *et al.*, 2015).

Pengindraan jauh semakin banyak digunakan karena banyak manfaatnya, antara lain pemanfaatan objek pengindraan jauh di permukaan bumi yang dapat digambarkan sesuai dengan bentuk dan letak objek sebagaimana adanya di dunia nyata. Sensor pengindraan jauh memiliki kemampuan untuk menangkap gelombang yang dipantulkan oleh vegetasi atau nonvegetasi dan mampu membedakan kualitas (jumlah klorofil) dan kuantitas (*leaf area index/LAI*) vegetasi dari pemanfaatan nilai indeks vegetasi. Hal tersebut menjadikan citra yang dihasilkan oleh pengindraan jauh dapat diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan sesuai dengan fungsi

dan spesifikasinya serta dapat membantu pekerjaan manusia seperti menggunakan teknologi penginderaan jauh yang telah banyak digunakan untuk menganalisis vegetasi saat ini. Hal ini karena kemampuan citra saat ini memiliki banyak keunggulan, seperti resolusi waktu yang baik dan kemampuan untuk melingkupi area yang luas dalam waktu yang singkat (Purwadhi dan Sanjoto, 2008).

2.6 Citra Satelit Landsat 7 dan 8

Citra satelit Landsat 7 ETM+ terdiri dari 8 *band* (saluran). *Band* 1 menggunakan spektrum ultra violet, *band* 3 menggunakan spektrum biru, *band* 4 menggunakan spektrum hijau, *band* 5 menggunakan spektrum merah, *band* 5 dan 7 menggunakan spektrum inframerah dekat dan inframerah jauh, *band* 6 menggunakan spektrum termal, dan *band* 8 menggunakan spektrum tampak. Citra Landsat 7 ETM+ (*enhanced thematic mapper plus*) mempunyai berbagai macam resolusi spasial : *band* 1,2,3,4,5,7 mempunyai resolusi spasial 30 meter, *band* 6 mempunyai resolusi spasial 60 meter, dan *band* 8 mempunyai resolusi spasial 15 meter. Luas cakupan tiap *scene* dari citra satelit Landsat adalah 170 x 183 kilometer (106 x 115 mil). Beberapa keunggulan di antaranya *band* pankromatik dengan resolusi spasial 15 meter, saluran inframerah termal dengan resolusi spasial 60 meter, dan kalibrasi radiometri 5 % (Hardianto, 2019).

Tabel 1. Karakteristik *band* citra Landsat

Landsat 7	Panjang gelombang micrometer (μm)	Resolusi (meter)	Aplikasi
<i>Band</i> 1	0,45 – 0,52	30	Membedakan jenis hutan dan corak kontur. Pemetaan pesisir pantai dan penggunaan lahan. Penetrasi air dan vegetasi.
<i>Band</i> 2	0,53 – 0,61	30	Mengukur kondisi tumbuhan. Mengukur pantulan klorofil vegetasi. Memperbaiki sedimentasi tumbuhan.

Landsat 7	Panjang gelombang micrometer (μm)	Resolusi (meter)	Aplikasi
<i>Band 3</i>	0,63 – 0,69	30	Pengelompokan tumbuhan dengan serapan klorofil. Prediksi jenis tumbuhan berdasarkan serapan sinar klorofil.
<i>Band 4</i>	0,76 – 0,90	30	Membedakan jenis tumbuhan, aktifitas dan biomasa. Membedakan batasan air dan pemisah kelembapan tanah.
<i>Band 5</i>	1,55 – 1,75	30	Peka terhadap kelembapan tanah dan vegetasi.
<i>Band 6</i>	10,40 – 12,50	60	Pemetaan fenomena termal dan hidrotermal.
<i>Band 7</i>	2,08 – 2,53	30	Sensitif terhadap kelembapan tumbuhan. Menganalisis tumbuhan dan studi kelembapan.
<i>Band 8</i>	0,52 – 0,90	15	Identifikasi permukiman. Kenampakan geologi.

Sumber : Hardianto (2019).

Citra Landsat 8 diluncurkan pada 11 Februari 2013. Jumlah panjang gelombang total yang dimiliki oleh Landsat 8 adalah 11 saluran. Citra Landsat tersebut dibagi menjadi dua kategori, yaitu *operational land imager* (OLI) dan *thermal infrared sensor* (TIRS). OLI adalah sistem pada Landsat 8 yang merupakan asli buatan dari *ball aerospace*. Sistem sensor ini memiliki 9 *band* dan terdapat 2 *band* yang baru pada satelit program Landsat, yaitu *deep blue coastal/aerosol band* (0,433–0,453 μm) untuk deteksi wilayah pesisir serta *shortwave infrared cirrus band* (1,360–1,390 μm) untuk mendeteksi awan *cirrus*. TIRS terdapat pada satelit Landsat 8 yang mana sensor satelit ini dibuat oleh NASA Goddard Space Flight Center. Kategori OLI terdiri dari *band 1* hingga *band 9*, sedangkan kategori TIRS terdiri dari *band 10* dan *band 11*. Sensor OLI di Landsat 8 menyediakan 12-bit citra satelit dan merekam objek dengan metode *push-broom*. Sensor TIRS menggunakan *quantum well infrared photodetectors* (QWIPs) untuk merekam gelombang inframerah termal yang dipancarkan oleh bumi (Fawzi dan Husna, 2021). Setiap *band* pada citra Landsat 8 memiliki fungsi tertentu dan dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik *band* citra Landsat 8

Saluran	Panjang gelombang (μm)	Fungsi
<i>Band 1 (coastal/aerosol)</i>	0,433 – 0,453	Studi pesisir dan aerosol.
<i>Band 2 (blue)</i>	0,450 – 0,515	Studi tanah, batimetri, membedakan vegetasi.
<i>Band 3 (green)</i>	0,525 – 0,600	Studi menilai kekuatan tanaman.
<i>Band 4 (red)</i>	0,630 – 0,680	Membedakan lereng vegetasi.
<i>Band 5 (near-infrared)</i>	0,845 – 0,885	Studi biomassa dan garis pantai.
<i>Band 6 (SWIR 1)</i>	1,560 – 1,660	Studi untuk membedakan kadar air tanah dan vegetasi serta dapat menembus awan.
<i>Band 7 (SWIR 2)</i>	2,100 – 2,300	Mengetahui peningkatan kadar air dari tanah dan vegetasi serta menetrasi awan tipis.
<i>Band 8 (pan)</i>	0,500 – 0,680	Menampilkan gambar yang lebih tajam dengan resolusi sebesar 15 meter.
<i>Band 9 (cirrus)</i>	1,360 – 1,390	Meningkatkan deteksi kontaminasi awan cirrus.
<i>Band 10 (LWIR)</i>	10,3 – 11,3	Studi suhu dan kelembaban tanah.
<i>Band 11 (LWIR 2)</i>	11,5 – 12,5	Studi suhu dan kelembaban tanah.

Sumber : Fawzi dan Husna (2021).

2.7 Indeks Vegetasi NDVI (*normalized difference vegetation index*)

Indeks vegetasi adalah kombinasi dari reflektansi permukaan pada dua atau lebih panjang gelombang yang dirancang untuk menyoroti sifat tertentu dari vegetasi. Ini diturunkan menggunakan sifat reflektansi vegetasi dijelaskan dalam *foliage* tanaman. Setiap indeks vegetasi dirancang untuk menonjolkan properti vegetasi tertentu. Nilai indeks vegetasi merupakan nilai yang dihasilkan dari persamaan matematis dari beberapa *band* penginderaan jauh (citra) yang menghasilkan nilai indeks (As-syakur dan Adnyana, 2009).

Perhitungan perbandingan sifat respon objek terhadap pantulan sinar merah dan NIR dapat menghasilkan nilai dengan karakteristik khas yang dapat digunakan untuk memperkirakan kerapatan kehijauan tanaman. Tanaman yang sehat berwarna hijau mempunyai nilai indeks vegetasi tinggi. Hal ini disebabkan oleh hubungan terbalik antara intensitas sinar yang dipantulkan vegetasi pada spektral sinar merah dan NIR (Sari *et al.*, 2014).

Indeks vegetasi bertujuan untuk lebih memperjelas tampilan benda berklorofil (vegetasi) dibandingkan dengan benda yang tidak memiliki klorofil. Nilai indeks vegetasi menyediakan persentase tutupan vegetasi, indeks tumbuhan hidup (*leaf area index*), biomassa tanaman, FAPAR (*fraction of absorbed hetically active radiation*), kapasitas fotosintesis dan perkiraan serapan karbon dioksida (CO₂) (Jiang *et al.*, 2008). NDVI atau *normalized difference vegetation index* merupakan metode standar yang digunakan dalam membandingkan tingkat kehijauan vegetasi yang berasal dari citra satelit. Perhitungan untuk nilai NDVI citra Landsat 8 dan 7 menggunakan persamaan (1).

$$NDVI = (NIR - red) / (NIR + red) \dots\dots\dots(1)$$

Tabel 3. Kelas indeks vegetasi Landsat 8 (NDVI)

No.	Nilai indeks vegetasi	Tingkat kehijauan
1.	-1 s/d < 0,03	Nonvegetasi/sangat rendah
2.	0,03 s/d < 0,25	Rendah
3.	0,25 s/d < 0,40	Sedang
4.	0,40 s/d < 1	Tinggi/rapat

Sumber : Pietersz *et al.*, (2015).

Tabel 4. Kelas indeks vegetasi Landsat 7(NDVI)

No.	Nilai indeks vegetasi	Tingkat kehijauan
1.	-1 s/d 0,32	Jarang
2.	0,32 s/d 0,42	Sedang
3.	0,42 s/d 1	Tinggi

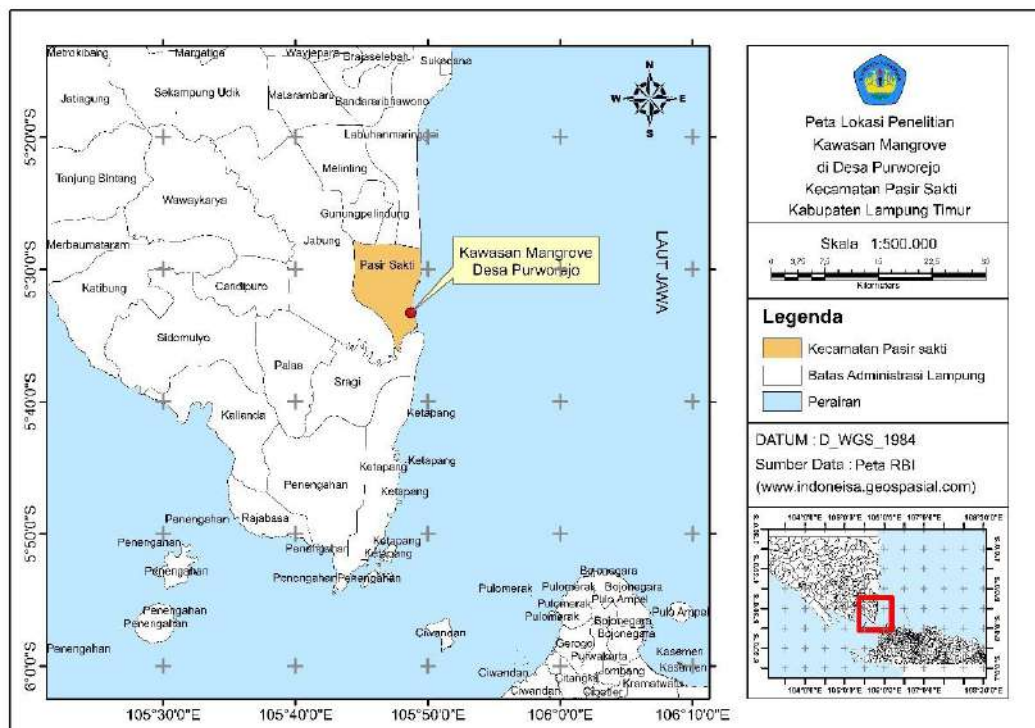
Sumber : Firdaus *et al.*, (2013).

Pada Tabel 3 dan 4 disajikan nilai indeks vegetasi (NDVI) yang mempunyai rentang nilai dari -1 hingga 1. Awan, air, dan objek nonvegetasi mempunyai nilai NDVI kurang dari nol. Nilai yang mewakili vegetasi terdapat pada rentang 0,1 hingga 0,7. Hal tersebut menjelaskan bahwa nilai indeks vegetasi lebih tinggi dari rentang tersebut bermakna penutupan vegetasi tersebut lebih sehat (Lillesand *et al.*, 1990).

III. METODOLOGI

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian mengenai variabilitas curah hujan dan suhu udara sebagai penyebab perubahan tutupan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur dilaksanakan pada tanggal 25 Oktober 2023. Lokasi penelitian dilakukan di kawasan mangrove Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.



Gambar 10. Peta lokasi penelitian.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Alat yang digunakan pada penelitian

No.	Alat	Keterangan
1.	Perangkat lunak ArcGis	Perangkat lunak digunakan untuk mengolah citra Landsat 8 sehingga diperoleh informasi.
2.	Perangkat lunak QGIS 3.24.0	<i>Preprocessing</i> citra Landsat 8.
3.	Microsoft Excel	Mengolah data.
4.	Microsoft Word	Menyusun laporan penelitian.

Tabel 6. Bahan yang digunakan pada penelitian

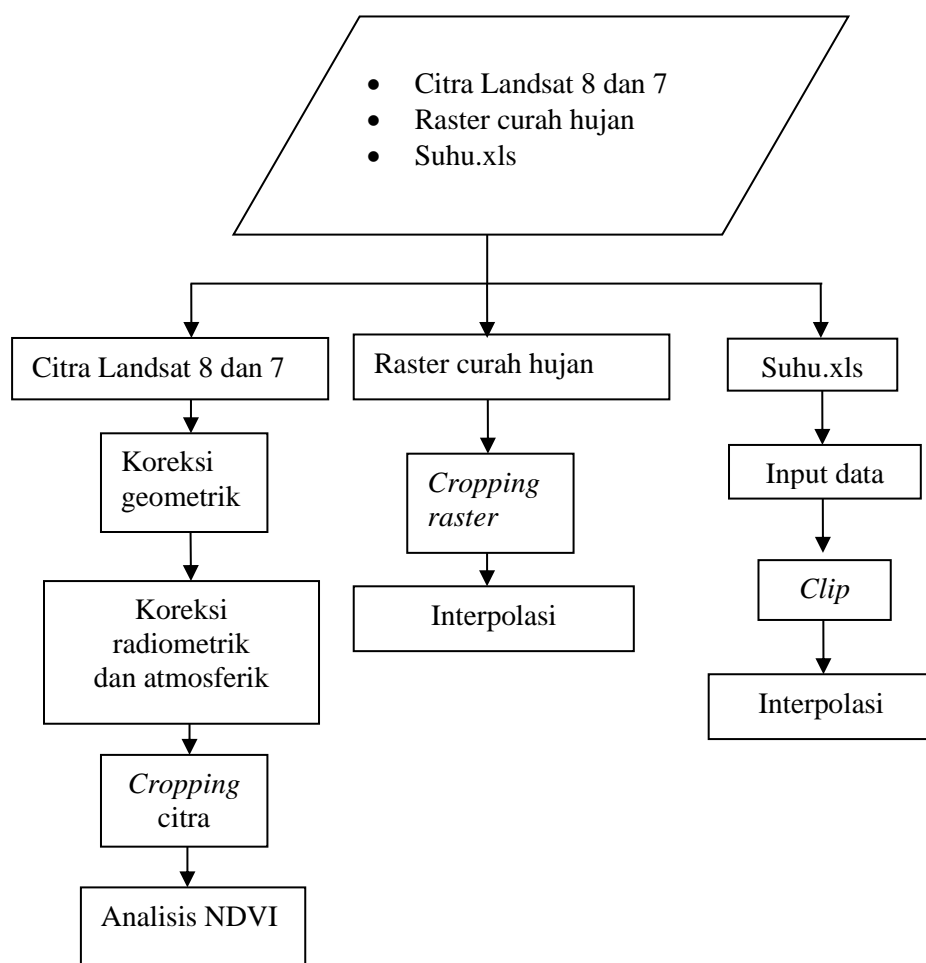
No.	Bahan	Keterangan dan sumber data
1.	Citra satelit Landsat 8 dan 7	Data berbentuk citra yang digunakan untuk mengetahui perubahan tutupan mangrove 2012-2022. Sumber : https://earthexplorer.usgs.gov/
2.	Curah hujan	Data berbentuk citra yang digunakan untuk menganalisis dan menginterpretasikan perubahan curah hujan tahun 2012-2022. Sumber : https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps
3.	Suhu udara	Data berbentuk citra yang digunakan untuk menganalisis dan menginterpretasikan perubahan suhu udara tahun 2012-2022. Sumber : https://power.larc.nasa.gov/

3.3 Jenis Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder citra satelit yang diolah menjadi nilai NDVI hasilnya berupa peta NDVI tahun 2012-2022, peta curah hujan, dan suhu udara tahun 2012-2022. Data tersebut diperoleh dalam bentuk format raster dan csv. Parameter suhu udara menggunakan jenis *earth skin temperature*.

3.2 Prosedur Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk mengubah data citra dan csv menjadi data yang dapat diinterpretasikan berupa peta NDVI mangrove tahun 2012-2022 serta peta curah hujan dan suhu udara. Pengolahan citra terdapat dua tahapan, yaitu pra pengolahan dan pengolahan. Pada tahapan pengolahan menggunakan data citra Landsat 8 dan 7 tahun 2012-2022 di kawasan mangrove Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur dan raster curah hujan dan data suhu udara berformat csv. Lalu pada proses pra pengolahan data citra menggunakan koreksi geometrik, radiometrik, dan atmosferik. Kemudian dilanjutkan dengan proses pengolahan yang diolah menggunakan perangkat lunak ArcGis 10.4 untuk memperoleh peta NDVI dan peta curah hujan dan suhu. Tahapan pengolahan secara singkat tersebut disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengolahan peta NDVI mangrove, curah hujan, dan suhu udara.

3.4.1 Pra Pengolahan

Pra pengolahan citra merupakan tahapan awal pada proses pengolahan citra satelit. Citra yang digunakan, yaitu citra Landsat 8 OLI/TIRS *Collection 2* Level-2 dan Landsat 7 tahun 2012-2022. Tahapan awal tersebut menggunakan *software* QGIS 3.24 yang meliputi tahapan koreksi geometrik, radiometrik, dan atmosferik. Pengerjaan pada tahapan tersebut menggunakan *plugins semi-automatic classification* yang mana pada bagian koreksi geometrik digunakan untuk memperbaiki akibat timbulnya distorsi karena perubahan posisi dan juga ketinggian sensor, sehingga posisi piksel dari citra satelit sesuai dengan posisi sebenarnya.

Pada bagian koreksi radiometrik dan atmosferik digunakan untuk meningkatkan kontras (*enhancement*) setiap piksel (*picture element*) dari citra, sehingga objek yang terekam mudah dianalisis untuk menghasilkan data atau informasi yang benar sesuai dengan keadaan lapangan sedangkan koreksi atmosferik digunakan untuk memperbaiki gangguan atmosfer seperti kabut tipis dan asap.

3.4.2 Pengolahan

Pada tahapan pengolahan kali ini dilakukan dengan menggunakan data citra Landsat 8 dan 7 yang telah terkoreksi, raster curah hujan dan suhu.xls. Pada citra tersebut diolah menggunakan QGIS 3.24 dan ArcGis 10.4, sedangkan raster curah hujan dan suhu.xls hanya menggunakan perangkat lunak ArcGis 10.4. Pengerjaan tersebut dilakukan meliputi tahapan pemotongan citra dan analisis NDVI. Pada proses pengerjaan pemotongan citra menggunakan *plugins semi-automatic classification*. pengolahan komposit citra menggunakan citra komposit RGB 432 (*true color*) sebagai tujuan analisis visualisasi gelombang tampak dan RGB 654 sebagai tujuan analisis vegetasi, sehingga objek yang ditampilkan dapat dengan mudah diidentifikasi dan dilanjutkan dengan tahapan NDVI.

Pada pengerjaan NDVI menggunakan *software* ArcGis 10.4 untuk menghitung nilai indeks vegetasi pada citra Landsat 8 dan 7 dengan memasukkan persamaan rasio pantulan yang terukur dari *band red* (R) dan *band near-infrared* (NIR) pada

tools raster calculator. Rumus tersebut disajikan pada persamaan (2) (Ikkarnila *et al.*, 2017). Pada pengolahan raster curah hujan dilakukan pemotongan raster. Setelah mendapat raster hasil potongan dilanjutkan proses interpolasi untuk memperoleh nilai ketebalan sebaran spasial curah hujan. Adapun pengerjaan data suhu udara dengan format berbentuk excel (xls) diinput kedalam *point*, kemudian dilanjutkan dengan pemotongan titik. Setelah mendapatkan nilai suhu udara didalam titik tersebut dilanjutkan dengan proses interpolasi untuk memperoleh data sebaran spasial suhu.

$$\text{“NDVI} = (\text{NIR} - \text{red}) / (\text{NIR} + \text{red})\text{”} \dots\dots\dots (2)$$

3.5 Analisis Data

- Analisis Luas Tutupan mangrove
Setelah proses pengolahan citra selesai dilakukan, kemudian dianalisis untuk menghitung luasan tutupan mangrove tahun 2012-2022. Analisis dilakukan dengan MS. Excel.

- Analisis Sebaran Kerapatan Mangrove
Analisis yang digunakan untuk mengetahui sebaran mangrove menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif untuk menginterpretasikan karakteristik kondisi perubahan tutupan mangrove tahun 2012-2022 berdasarkan kelas indeks vegetasi mangrove (NDVI) mangrove. Objek yang diamati pada penelitian ini berupa peta hasil olahan.

- Analisis Perubahan Curah Hujan dan Suhu Udara
Pada analisis variabel curah hujan dan suhu udara yang mengalami perubahan menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif. Pendekatan tersebut digunakan untuk menjelaskan hasil observasi berupa peta curah hujan dan suhu udara tahun 2012-2022 yang diinterpretasikan pula perubahannya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini, yaitu

1. Pola curah hujan dan suhu udara pada tahun 2012-2022 yang terjadi di kawasan hutan mangrove Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur menunjukkan tipe pola iklim yang termasuk dalam curah hujan pola muson.
2. Kondisi perubahan tutupan mangrove yang terjadi di tahun 2012-2022 yang mana dipengaruhi oleh curah hujan dan suhu udara memperlihatkan kecenderungan terjadinya penurunan luasan pada tingkat kehijauan mangrove di kawasan hutan mangrove Register 15 Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.

5.2 Saran

Dampak kerusakan pada area tutupan mangrove bukan hanya disebabkan oleh curah hujan dan suhu udara, tetapi banyak faktor iklim yang bekerja, sehingga diperlukan data tambahan, seperti data kenaikan muka air laut, pasang surut, gelombang panas, dan lain-lain untuk mengetahui secara keseluruhan dari peristiwa yang terjadi. Hal-hal yang perlu diperhatikan lainnya adalah adanya kelengkapan data vegetasi dalam bulan maupun tahun dan pendugaan perubahan tutupan vegetasi mangrove terkait dengan iklim secara lebih akurat. Analisis tersebut memerlukan model parametrik fenologi *Avicennia marina* untuk mengetahui periode daun tumbuh dan mati.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abhik, S., Hope, P., dan Hendon, H. H. 2021. Influence of the 2015-2016 El-Niño on the record-breaking mangrove ack along Northern Australia Coast. *Scientific Reports*. 11(1): 20411.
- Aldrian, E., dan Susanto, R. D. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*. 23(12): 1435-1452.
- Ariska, M., Akhsan, H., Muslim, M., Sudirman, dan Kistiono. 2022. Pengaruh *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) terhadap curah hujan dan korelasinya dengan *Consecutive Dry Days* (CDD) Provinsi Sumatera Selatan dari tahun 1981-2020. *Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya*. 6(2): 31-41.
- Asbridge, E., Lucas, R., Accad, A., dan Dowling, R. 2015. Mangrove response to environmental changes predicted under varying climates: case studies from Australia. *Current Forestry Reports*. 1(1): 78-194.
- As-syakur, A. R., dan Adnyana, I. M. S. 2009. Analisis indeks vegetasi menggunakan citra alos atau avnir-2 dan sistem informasi geografi (SIG) untuk evaluasi tata ruang Kota Denpasar. *Jurnal Bumi Lestari*. 9(1): 1-11.
- Asyam, A. M. D., Rochaddi, B., dan Widiaratih, R. 2024. Hubungan ENSO dan IOD terhadap suhu permukaan laut dan curah hujan di Selatan Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography* (IJOCE). 6(2): 165-172.
- Athoillah, I., Sibarani, R. M., dan Doloksaribu, D. E. 2017. Analisis spasial El Nino kuat tahun 2015 dan La Nina lemah tahun 2016 (Pengaruhnya terhadap kelembapan, angin dan curah hujan di Indonesia). *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*. 18(1): 33-41.
- Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG). 2021. *Peta Rata-Rata Curah Hujan dan Hari Hujan Periode 1991-2020 Indonesia*. BMKG. Jakarta. 186 hlm.
- Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG). 2022. *Prakiraan Musim Hujan 2022/2023 di Indonesia*. BMKG. Jakarta. 63 hlm.

- Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG). 2023. *Jejak Kekeringan : Melacak Kekeringan Meteorologis di Indonesia Periode 2011-2020*. BMKG. Jakarta. 134 hlm
- Coupland, G. T., Paling, E. I., dan McGuinness, K. A. 2005. Vegetative and reproductive phenologies of four mangrove species from Northern Australia. *Australian Journal of Botany*. 53(1): 109-117.
- Damanik, N. L., Dirhamsyah, M., dan Fatimah, E. 2015. Model distribusi bantuan logistik kemanusiaan pada saat bencana banjir dengan memperhitungkan data iklim (Studi kasus bencana banjir *bandang* Kecamatan Tangse, Kabupaten Pidie, Prop. Aceh). *Jurnal Ilmu Kebencanaan Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*. 2(1): 35-43.
- Das, S. C., Pullaiah, dan Ashton, E. C. 2022. *Mangroves: Biodiversity, Livelihoods and Conservation*. Springer Singapore. Singapura. 609 hlm.
- Desi. 2011. *Aplikasi Pengindraan Jauh untuk Menduga Suhu Permukaan dan Udara di Lahan Gambut dan Mineral dengan Menggunakan Metode Neraca Energi*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor. 43 hlm.
- Duke, N. C. 1990. Phenological trends with latitude in the mangrove tree *Avicennia marina*. *Journal of Ecology*. 78(1): 113-133.
- Duke, N. C., Kovacs, J. M., Griffiths, A. D., Preece, L., Hill, D. J. E., Oosterzee, P. V., Mackenzie, J., Morning, H. S., dan Burrows, D. 2017. Large-scale dieback of mangroves in Australia's Gulf of Carpentaria: a severe ecosystem response, coincidental with an unusually extreme weather event. *Marine and Freshwater Research*. 1(1): 1-15.
- Eslami-Andargoli, L., Dale, P., Sipe, N., dan Chaseling, J. 2009. Mangrove expansion and rainfall patterns in Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 85(2): 292-298.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., dan Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29(1): 185-212.
- Fawzi, N. I., dan Husna, V. N. 2021. *Landsat 8 - Sebuah Teori dan Teknik Pemrosesan Tingkat Dasar*. El Markazi. Bengkulu. 76 hlm.
- Firdaus, H. S., Taufik, M., dan Utama, W. 2013. Analisis rona awal lingkungan dari pengolahan citra Landsat 7 ETM+ (Studi kasus :Daerah eksplorasi Geothermal Kecamatan Sempol, Bondowoso). *Journal of Geodesy and Geomatics (GEOID)*. 9(1): 58-64.

- Fuady, I., Pribadi, R., dan Nirwani. 2013. Struktur komunitas mangrove di Pulau Jemaja, Kabupaten Kepulauan Anambas, dan Pulau Liran, Kabupaten Maluku Barat Daya. *Journal of Marine Research*. 2(2): 94-102.
- Gustari, I. 2009. Analisis curah hujan Pantai Barat Sumatera Bagian Utara periode 1994-2007. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 10(1): 29-38.
- Hadi, B. S. 2019. *Pengindraan Jauh Pengantar ke Arah Pembelajaran Berpikir Spasial*. Universita Negeri Yogyakarta Press. Yogyakarta. 225 hlm.
- Hardianto, R. 2019. *Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Suhu Permukaan di Kabupaten Sidoarjo*. (Skripsi). Universitas Brawijaya. Malang. 113 hlm.
- Hermawan, E. 2010. Pengelompokan pola curah hujan yang terjadi di beberapa kawasan Pulau Sumatera berbasis hasil analisis teknik spektral. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 11(2): 75-85.
- Hidayat, R., dan Haryanto, Y. D. 2023. Analisis proyeksi curah hujan tahunan (2016-2040) menggunakan skenario RCP 4.5 di Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Fisika Unand*. 12(2): 255-261.
- Hidayat, R., dan Farihah, A. W. 2020. Identifikasi perubahan suhu udara dan curah hujan di Bogor. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*. 10(4): 616-626.
- Higginbottom, T. P., dan Symeonakis, E. 2014. Assessing land degradation and desertification using vegetation index data: current frameworks and future directions. *Remote Sensing*. 6(10): 9552-9575.
- Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S., dan Wang, L. 2018. Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. *Frontiers in Plant Science*. 9(1): 1-393.
- Ikkarnila, Mey, D., dan Saleh, F. 2017. Analisis spasial kebutuhan ruang terbuka hijau dan potensi biomassa di Kota Baubau. *Jurnal Jagat*. 1(1): 51-62.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to The Sixth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge. 846 hlm.

- Barros, V. R., Field, C. B., Dokken, D. J., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R., dan White, L. L. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. United Kingdom and United States of America. 688 hlm.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., dan Miura, T. 2008. Development of a two band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*. 112(10): 3833-3845.
- Lestari, S. L., Salsadila, C. K., dan Maharani, H. W. 2024. Status keberlanjutan ekowisata hutan mangrove di Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Lampung Timur. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. 15(1): 21-31.
- Li, C., Jiang, D., Wollenweber, B., Li, Y., Dai, T., dan Cao, W. 2011. Waterlogging pretreatment during vegetative growth improves tolerance to waterlogging after anthesis in wheat. *Plant Science*. 180(1): 672-678.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W, dan Chipman, J. W. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation : 7th Edition*. Courier Westford. United States of America. 770 pp.
- Lillesand, T. M., Dulbahri, Susanto, dan Kiefer, R. W. 1990. *Pengindraan Jauh dan Interpretasi Citra*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 725 hlm.
- Marwoto, R. M., Heryanto, Isnaningsih, N. R., Mujiono, N., Alfiah, dan Prihandini, R. 2020. *Moluska Jawa (Gastropoda & Bivalvia)*. PT Penerbit IPB Press. Bogor. 129 hlm.
- McDowell, N. G., Ball, M., Bond-Lamberty, B., Kirwan, M. L., Krauss, K.W., Megonigal, J. P., Maurizio Mencuccini, M., Ward, N. D., Weintraub, M. N., dan Bailey, V. 2022. Processes and mechanisms of coastal woody-plant mortality. *Global Change Biology*. 28(20): 5881-5900.
- Mehta, P. A., Sivaprakash, K., Parani, M., *et al.* 2005. Generation and analysis of expressed sequence tags from the salt-tolerant mangrove species *Avicennia marina* (Forsk) Vierh. *Theoretical Applied Genetic*. 110(1): 416-424.
- Meteorological Service Singapore (MSS). 2022. *Annual Climate Assessment*. MSS. Singapura. 27 hlm.
- Muharram, F., Maharani, H. W., Diantari, R., dan Nurdiansah, D. 2021. Produktivitas primer tambak udang vaname *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)

- pada jarak dan kerapian komunitas hutan mangrove yang berbeda. *Jurnal Enggano*. 6(2): 284-293.
- Paling, E. I., Kobryn, H. T., dan Humphreys, G. 2008. Assessing the extent of mangrove change caused by Cyclone Vance in the Eastern Exmouth Gulf, Northwestern Australia. *Estuarine, Coastal Shelf Science*. 77(4): 603-613.
- Pattipeilohy, W. J., Amalia, A., dan Rakhim, R. 2021. Verifikasi prakiraan curah hujan bulanan menggunakan *Ecmwf* dan Arima di Papua Barat. *Jurnal Widya Climago*. 3(2): 1-9.
- Pietersz, J. H., Matinahoru, J. M., dan Loppies, R. 2015. Pendekatan indeks vegetasi untuk mengevaluasi kenyamanan termal menggunakan data satelit *Landsat-TM* di Kota Ambon. *Agrologia : Jurnal Ilmu Budidaya Tanaman*. 4(2): 60-68.
- Polidoro, B. A., Carpenter, K. E., Collins, L., Duke, N. C., Ellison, A. M., Ellison, J. C., Farnsworth, E. J., Fernando, E. S., Kathiresan, K., Koedam, N. E., Livingstone, S. R., Miyagi, T., Moore, G. E., Nam, V. N., Ong, J. E., Primavera, J. H., Salmo III, S. G., Sanciangco, J. C., Sukardjo, S., Wang, Y., dan Yong, J. W. H. 2010. The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *Plos One*. 5(4): e10095.
- Purwadhi, S. H., dan Sanjoto, T. B. 2008. *Pengantar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh*. LAPAN. Jakarta. 101 hlm.
- Reef, R., Schmitz, N., Rogers, B. A., Ball, M. C., dan Lovelock, C. E. 2012. Differential responses of the mangrove *Avicennia marina* to salinity and abscisic acid. *Functional Plant Biology*. 39(12): 1-11.
- Sari, C. P., Subiyanto, S., dan Awaluddin, M. 2014. Analisis deforestasi hutan di Provinsi Jambi menggunakan metode penginderaan jauh (studi kasus Kabupaten Muaro Jambi). *Jurnal Geodesi Undip*. 3(2): 1-15.
- Selase, A. E., Agyimpomaa, D. E. E., Selasi, D. D., dan Hakii, D. M. N. 2015. Precipitation and rainfall types with their characteristic features. *Journal of Natural Sciences Research*. 5(20): 2224-3186.
- Sippo, J. Z., Lovelock, C. E., Santos, I. R., Sanders, C. J., dan Maher, D. T. 2018. Mangrove mortality in a changing climate: an overview. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 215(1): 241-249.
- Solomon, S., Alley, R., Gregory, J., Lemke, P., dan Manning, M. 2008. A closer look at the IPCC report. *Science*. 319(5862): 409-410.
- Subbarao, G. V., Nam, N. H., Chauhan, Y. S., dan Johansen, C. 2000. Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeonpea under water deficits. *Journal Plant Physiology*. 157(1): 651-659.

- Sumampouw, O. J. 2019. *Perubahan Iklim dan Kesehatan Masyarakat*. Deepublish. Yogyakarta. 74 hlm.
- Tjasjono, H. K. B. 1999. *Klimatologi Umum*. Institut Teknologi Bandung. Bandung. 317 hlm.
- Tukidi. 2010. Karakter curah hujan di Indonesia. *Jurnal Geografi*. 7(2): 1-10.
- Wang'ondou, V. W., Kairo, J. G., Kinyamario, J. I., Mwaura, F. B., Bosire, J. O., Dahdouh-Guebas, F., dan Koedam, N. 2010. Phenology of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. in a Disjunctly-zoned Mangrove Stand in Kenya. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*. 9(2): 135-144.
- Wilson, R. 2017. Impacts of climate change on mangrove ecosystems in the coastal and marine environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS). *Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science*. 1(1): 60-82.
- Yuliasamaya, Darmawan, A., dan Hilmanto R. 2014. Perubahan tutupan hutan mangrove di pesisir Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3): 111-124