

TA/TL/2022/1418

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH KONTAMINASI AIR ASAM KAWAH
IJEN TERHADAP PERTANIAN DI KECAMATAN ASEMBAGUS,
SITUBONDO, JAWA TIMUR**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



RAYNARD DWI KUSUMABRATA

17513073

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

YOGYAKARTA

2022

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH KONTAMINASI AIR ASAM KAWAH
IJEN TERHADAP PERTANIAN DI KECAMATAN ASEMBAGUS,
SITUBONDO, JAWA TIMUR**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



RAYNARD DWI KUSUMABRATA

17513073

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Nelly Marlina, S.T., M.T.

NIK. 125130401

Tanggal: 04 Februari 2022

Lutfia Isna Ardhayanti, S.Si., M.Sc.

NIK. 155130111

Tanggal: 04 Februari 2022

Mengetahui,
Kepala Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswono, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

NIK. 025100406

Tanggal: 04 Februari 2022

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH KONTAMINASI AIR ASAM KAWAH
IJEN TERHADAP PERTANIAN DI KECAMATAN ASEMBAGUS,
SITUBONDO, JAWA TIMUR**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat

Tanggal : 04 Februari 2022

Disusun oleh :

RAYNARD DWI KUSUMABRATA

17513073

Tim Penguji:

Nelly Marlina, S.T., M.T.

()

Lutfia Isna Ardhayanti, S.Si., M.Sc.

()

Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Laporan Tugas Akhir ini sesungguhnya dibuat secara asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Laporan Tugas akhir ini dibuat berdasarkan gagasan dan penelitian dari saya sendiri dengan bantuan arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini tentunya terdapat kutipan dari karya tulis orang lain yang dengan jelas saya cantumkan sumbernya sesuai kaidah dan etika penulisan karya ilmiah.
4. Program software komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan tujuan bersedia menerima sanksi dengan pencabutan gelar akademik maupun sanksi lainnya yang berlaku apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini.

Yogyakarta, 15 Januari 2022
Yang membuat pernyataan,



Raynard Dwi Kusumabrata

NIM: 17513073

PRAKATA

Puji dan Syukur kita panjatkan terhadap kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan izinnya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Kontaminasi Air Asam Kawah Ijen Terhadap Pertanian Di Kecamatan Asembagus, Situbondo, Jawa Timur**”. Pembuatan laporan ini berguna untuk memenuhi syarat agar dapat lulus dalam perkuliahan Sarjana Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Sebagai bentuk apresiasi terhadap semua kalangan yang sudah membantu dan mendukung dalam pengerjaan penelitian ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis yang telah mendukung dan mendoakan penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
2. Kepala Program Studi Teknik Lingkungan, Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
3. Ibu Nelly Marlina, S.T., M.T. selaku pembimbing 1 dan Ibu Lutfia Isna Ardhayanti, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing 2.
4. Bapak Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing teknis dalam penelitian ini.
5. Seluruh Dosen Teknik Lingkungan FTSP UII atas ilmu yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman jurusan Teknik Lingkungan yang sudah menemani penulis dari awal sampai saat ini.
7. Dinas Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan Kabupaten Situbondo yang sudah membantu dalam urusan data.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Asumsi Penelitian.....	4
1.6. Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Kawah Ijen.....	5
2.2. Dampak Air Asam Kawah Ijen.....	6
2.3. Dampak Salinitas Tanah.....	7
2.4. Citra Satelit Landsat 7 ETM ⁺ dan Landsat 8 OLI.....	8
2.5. Integrasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi dan Geografis (SIG)	11
2.6. Pemetaan Indeks Salinitas Tanah.....	12
2.7. Rangkuman Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1. Lokasi Penelitian.....	17
3.2. Metode Pengumpulan Data.....	18

3.2.1.	Perangkat Pengolahan Data	18
3.2.2.	Data	18
3.3.	Alur Penelitian.....	19
3.4.	Proses Analisis Data.....	20
3.4.1.	Input Data.....	20
3.4.2.	Pengolahan Data.....	20
3.4.3.	Analisis Data	21
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		22
4.1.	Produktivitas Pertanian.....	22
4.1.1.	Komoditas Tebu	22
4.1.2.	Komoditas Padi	24
4.1.3.	Komoditas Jagung.....	27
4.1.4.	Komoditas dan Lokasi Studi Kasus Penelitian	30
4.2.	Lokasi Studi Kasus Area Terdampak Air Asam	31
4.3.	Analisis Perubahan Penggunaan Lahan	32
4.4.	Analisis Indeks Salinitas Lokasi Studi Kasus	36
4.4.1.	Pemilihan Temporal Citra Landsat	36
4.4.2.	Interpretasi Visual dan Numerik Hasil Perhitungan Indeks.....	36
4.4.3.	Luas Area Salinitas	57
4.5.	Analisis Korelasi Produktivitas Pertanian dan Luas Indeks Salinitas	60
4.6.	Alternatif Pengolahan.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		64
5.1.	Kesimpulan.....	64
5.2.	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN.....		74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Citra Satelit Landsat 7 ETM ⁺	9
Tabel 2.2. Karakteristik Citra Satelit Landsat 8 OLI	10
Tabel 2.3. Rumus-rumus Analisis Indeks Salinitas Tanah	13
Tabel 2.4. Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3.1. Data Sekunder	18
Tabel 3.2. Input Data.....	20
Tabel 4.1. Laju Pertumbuhan Lahan Terbangun.....	33
Tabel 4.2. Laju Pengurangan Lahan Pertanian	35
Tabel 4.3. Nilai Indeks Salinitas Keseluruhan Tahun 2000.....	36
Tabel 4.4. Nilai Indeks Salinitas Keseluruhan Tahun 2021	37
Tabel 4.5. Rentang Nilai Indeks Salinitas Area Asam Tahun 2000 & 2021	54
Tabel 4.6. Rentang Nilai Indeks Salinitas Area Netral Tahun 2000 & 2021	56
Tabel 4.7. Luas Area Indeks Salinitas Tahun 2000	58
Tabel 4.8. Luas Area Indeks Salinitas Tahun 2021	59
Tabel 4.9. Interpretasi Nilai Koefisien Korelasi	61
Tabel 4.10. Korelasi antara Produktivitas Pertanian dengan Luas Indeks Salinitas	62

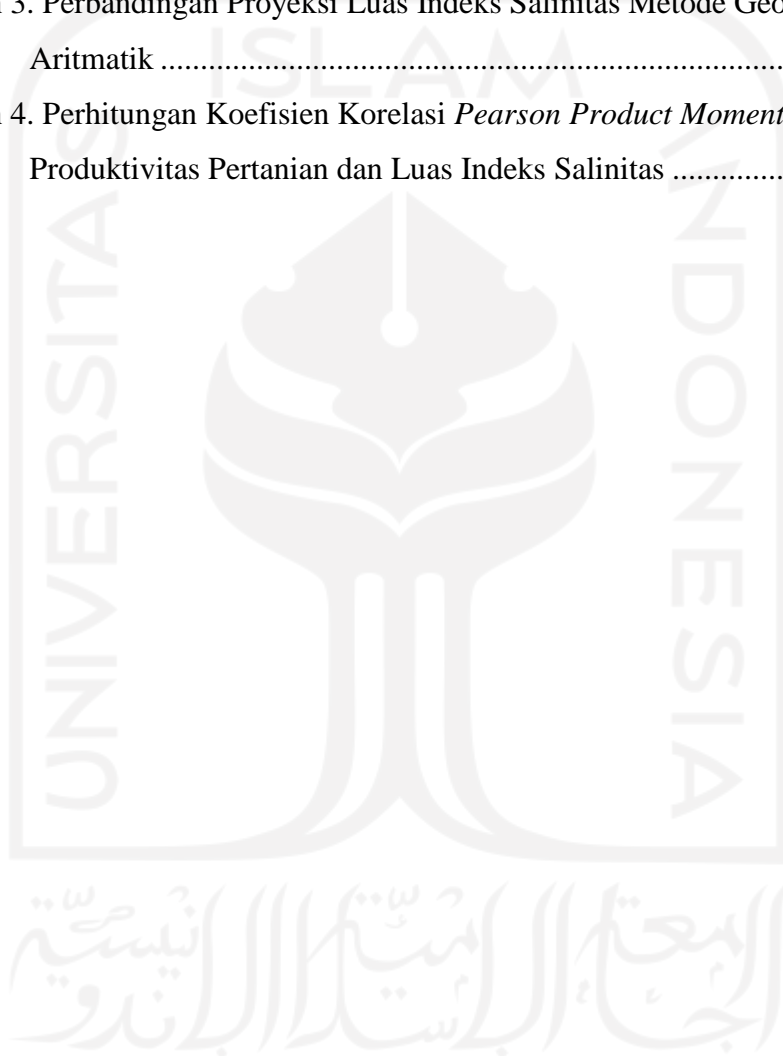
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jaringan Irigasi Pertanian di Kecamatan Asembagus	7
Gambar 3.1. Peta Lokasi Penelitian	17
Gambar 3.2. Alur Penelitian.....	19
Gambar 4.1. Grafik Luas Tanam Tebu (Hektar) di Lokasi Studi	22
Gambar 4.2. Grafik Luas Panen Tebu (Hektar) di Lokasi Studi	23
Gambar 4.3. Grafik Produksi Tebu (Ton) di Lokasi Studi	24
Gambar 4.4. Grafik Produktivitas Tebu (Ton/Ha) di Lokasi Studi.....	24
Gambar 4.5. Grafik Luas Tanam Padi (Hektar) di Lokasi Studi	25
Gambar 4.6. Grafik Luas Panen Padi (Hektar) di Lokasi Studi.....	25
Gambar 4.7. Grafik Produksi Padi (Ton) di Lokasi Studi.....	26
Gambar 4.8. Grafik Produktivitas Padi (Ton/Ha) di Lokasi Studi.....	27
Gambar 4.9. Grafik Luas Tanam Jagung (Hektar) di Lokasi Studi	28
Gambar 4.10. Grafik Luas Panen Jagung (Hektar) di Lokasi Studi.....	28
Gambar 4.11. Grafik Produksi Jagung (Ton) di Lokasi Studi	29
Gambar 4.12. Grafik Produktivitas Jagung (Ton/Ha) di Lokasi Studi	29
Gambar 4.13. Grafik Produktivitas-Padi di Kecamatan Asembagus dan Banyuputih Tahun 2013-2020	30
Gambar 4.14. Peta Lokasi Studi Kasus Kecamatan Asembagus	32
Gambar 4.15. Peta Lahan Terbangun Tahun 2001	34
Gambar 4.16. Peta Lahan Terbangun Tahun 2021	35
Gambar 4.17. Peta Lahan Pertanian Tahun 2021.....	36
Gambar 4.18. Peta Indeks Salinitas Musim Kemarau Tahun 2000	37
Gambar 4.19. Peta Indeks Salinitas Musim Kemarau Tahun 2021	38
Gambar 4.20. Peta Klasifikasi Metode <i>Defined Interval</i> Tahun 2000 & 2021.....	40
Gambar 4.21. Peta Klasifikasi Metode <i>Equal Interval</i> Tahun 2000 & 2021	42
Gambar 4.22. Peta Klasifikasi Metode <i>Geometrical Interval</i> Tahun 2000 & 2021 ..44	

Gambar 4.23. Peta Klasifikasi Metode <i>Natural Breaks</i> Tahun 2000 & 2021	46
Gambar 4.24. Peta Klasifikasi Metode <i>Quantile</i> Tahun 2000 & 2021	48
Gambar 4.25. Peta Klasifikasi Metode <i>Standard Deviation</i> Tahun 2000 & 2021.....	50
Gambar 4.26. Peta Titik Sampel Area Asam dan Netral Tahun 2000 dan 2021	52
Gambar 4.27. Nilai per Sampel Indeks Salinitas Area Asam Tahun 2000	53
Gambar 4.28. Nilai per Sampel Indeks Salinitas Area Asam Tahun 2021	53
Gambar 4.29. Nilai per Sampel Indeks Salinitas Area Netral Tahun 2000	55
Gambar 4.30. Nilai per Sampel Indeks Salinitas Area Netral Tahun 2021	55
Gambar 4.31. Peta Klasifikasi Indeks Salinitas Tahun 2000	58
Gambar 4.31. Peta Klasifikasi Indeks Salinitas Tahun 2000	59
Gambar 4.33. Korelasi antara Produktivitas Pertanian dengan Luas Indeks Salinitas.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai Indeks Salinitas Berdasarkan Titik Sampel Area Asam	74
Lampiran 2. Nilai Indeks Salinitas Berdasarkan Titik Sampel Area Netral	79
Lampiran 3. Perbandingan Proyeksi Luas Indeks Salinitas Metode Geometrik dan Aritmatik	82
Lampiran 4. Perhitungan Koefisien Korelasi <i>Pearson Product Moment</i> Variabel Produktivitas Pertanian dan Luas Indeks Salinitas	83



ABSTRAK

Sungai Banyuputih tercemar oleh rembesan air asam Kawah Ijen. Pada musim kemarau petani di Kecamatan Asembagus, Kabupaten Situbondo, Provinsi Jawa Timur menggunakan air Sungai Banyuputih sebagai sumber irigasi pertanian. Berdasarkan penelitian van Rotterdam-Los (2008), dampak pencemaran air asam terhadap sektor pertanian adalah penurunan produktivitas hasil pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis korelasi pencemaran air asam terhadap penurunan produktivitas pertanian. Metode yang digunakan adalah analisis penginderaan jauh menggunakan perangkat lunak ArcGIS pada data citra landsat 7 ETM⁺ dan citra Landsat 8 OLI. Citra Landsat 7 menggunakan perekaman tahun 2000, sedangkan citra Landsat 8 menggunakan perekaman tahun 2021. Kedua citra satelit tersebut menggunakan perekaman musim kemarau yaitu pada Bulan Juli. Data citra satelit landsat diolah menggunakan persamaan spektral landsat, hasil dari pengolahan citra tersebut berupa peta indeks salinitas dan peta tersebut akan digunakan untuk menghitung luas area indeks salinitas. Perhitungan luas salinitas dilakukan dengan menghitung luas piksel pada peta indeks salinitas. Kemudian setelah proses perhitungan, diperoleh luas area indeks salinitas dengan kelas klasifikasi tinggi-sangat tinggi pada tahun 2000 memiliki total luas 4.121.446 m² dan pada tahun 2021 total luasnya adalah 5.232.069 m². Setelah itu, dilakukan analisis korelasi menggunakan metode *Pearson Product Moment* dengan variabel produktivitas pertanian (Sumbu X) dan luas area indeks salinitas (Sumbu Y). Analisis korelasi tersebut menghasilkan koefisien korelasi (R) -0,225, yang dimana hasil tersebut masuk kedalam kategori korelasi rendah.

Kata Kunci: Salinitas, Penginderaan Jauh, Pertanian, Korelasi

ABSTRACT

The Banyuputih River is polluted by the absorption of acidic water from Ijen Crater. During the dry season, farmers in Asembagus District, Situbondo Regency, East Java Province use Banyuputih River water as a source of agricultural irrigation. Based on research by van Rotterdam-Los (2008), The productivity of agricultural products has decreased affected by the acid water pollution in agriculture sector. The purpose of this research is to analyze the correlation of acid water pollution to the decline in agricultural productivity. The method used is remote sensing analysis using ArcGIS software on Landsat 7 ETM+ image data and Landsat 8 OLI imagery. Landsat 7 imagery uses 2000 recording, while Landsat 8 image uses 2021 recording. Both satellite images use dry season recording, in July. Landsat satellite image data is processed using the Landsat spectral equation, the results of the image processing is a salinity index map and the map will be used to calculate the area of the salinity index. Salinity area calculation is done by calculating the pixel area on the salinity index map. Then after the calculation process, the area of the salinity index with the classification class high-very high in 2000 has a total area of 4,121,446 m² and in 2021 the total area is 5,232,069 m². After that, correlation analysis was performed using the Pearson Product Moment method with agricultural productivity variables (X-axis) and salinity index area (Y-axis). The correlation analysis produces a correlation coefficient (R) -0.225, which means the results are included in the category of low correlation.

Keywords: *Salinity, Remote Sensing, Agriculture, Correlation*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ijen Caldera Complex (ICC) merupakan depresi kaldera berbentuk bulat yang di dalamnya terdapat Gunung Api Ijen dan Kawah Ijen (Caudron et al., 2015). Kawah Ijen merupakan danau vulkanik (*crater lake*) terbesar di dunia dengan dimensi volume $3,0 \times 10^7 \text{ m}^3$ dan kedalaman yang terus berkurang selama 70 tahun terakhir (Takano et al., 2004). Air kawah berwarna hijau muda, menandakan bahwa kawah tersebut bersifat sangat asam dengan nilai pH sangat rendah dibawah 0,3 (Löhr et al., 2005).

Sejak kurang lebih 200 tahun, air dari Kawah Ijen mengalami kebocoran dan masuk ke dalam sistem aliran Sungai Banyupahit-Banyuputih, dan mencemari area hilir sungai di daerah Kecamatan Asembagus dan sekitarnya (Delmelle et al., 2000). Lebih lanjut, hasil perhitungan Delmelle dari data tahun 1996 menunjukkan bahwa, sebanyak ~150 ton sulfat, ~2,8 ton fluorida, ~50 ton klorida, ~10 ton aluminium, ~34 ton silika, ~0,42 ton Mangan, ~0,035 ton titanium dan ~0,004 ton tembaga masuk ke dalam sistem jaringan irigasi setiap harinya. Hasil dari wawancara yang pernah dilakukan terhadap para petani oleh Widianarko et al., (2006), menunjukkan hasil sebanyak 74% responden menjawab tanaman padi, jagung, dan tebu terdampak air irigasi asam. Berdasarkan penelitian Heikens, et al., (2005), pemanfaatan air Sungai Banyuputih sebagai sumber aliran irigasi biasanya dilakukan pada musim kemarau (April-Oktober) dengan membuka pintu air irigasi. Sedangkan ketika musim penghujan (November-Maret) air dari Sungai Banyuputih tidak digunakan untuk irigasi, dan air langsung dialirkan menuju laut melalui sungai. Tercemarnya aliran sungai dengan air asam menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Tanah yang tercemar aliran asam akan mengalami penurunan pH, peningkatan salinitas, serta perubahan kandungan komposisi pada tanah (van Rotterdam-Los et al, 2008).

Data dari Dinas Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan (DTPHP) Kabupaten Situbondo, selama periode 2013-2020 menunjukkan tren penurunan produktivitas hasil pertanian pada tanaman padi dan jagung di Kecamatan Asembagus. Aliran irigasi asam memberi pengaruh signifikan terhadap perubahan komposisi kimia pada lapisan tanah permukaan. Hasil penelitian van Rotterdam-Los et al., (2008) menunjukkan bahwa air irigasi yang tercemar aliran asam menurunkan pH tanah dan meningkatkan salinitas (EC) tanah pada tanah permukaan hingga kedalaman 3 m. Pencemaran pada tanah menyebabkan perubahan komposisi Kapasitas Pertukaran Kation (*Cation Exchange Capacity*) dari dominasi mineral Ca dan Mg menjadi dominasi mineral Al dan Si, melalui proses pencucian (*leaching*) pada tanah permukaan. Mineral Al dan Si menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat, karena mengikat unsur hara yang penting bagi tanaman, khususnya unsur S (sulfur) dan P (fosfor). Selain menghambat pertumbuhan tanaman, mineral tersebut juga bisa menjadi racun bagi tanaman (Nazir et al., 2017).

Dampak dari rendahnya pH dan tingginya konsentrasi logam berat pada aliran irigasi mengakibatkan hasil produksi pertanian mengalami tren penurunan produktivitas, karena air yang digunakan sudah melebihi baku mutu air irigasi (Löhr et al., 2005). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, standar baku mutu untuk air irigasi untuk pertanian adalah pH: 6-9; Kadmium (Cd): 0,01 mg/L; Seng (Zn): 0,05-2 mg/L; Timbal (Pb): 0,03-0,5 mg/L; Tembaga (Cu): 0,02-0,2 mg/L; Flourida (F): 1,5 mg/L.

Kontaminasi aluminium (Al) dan kemasaman tanah yang tinggi menjadi masalah dalam pertumbuhan padi dan jagung karena menyebabkan tudung akar rusak dan pertumbuhan rambut akar terhambat, akibatnya daun padi menjadi rusak dan penyerapan unsur hara berkurang (Purnamaningsih et al., 2008). Semakin jenuh kadar Al pada tanah dapat menyebabkan penurunan hasil produksi pada jagung (Suprpto et al, 2011). Berbeda halnya dengan tebu yang menjadi ikon di kawasan Asembagus sejak jaman kolonial Belanda, menurut Sumarti (2012), tanaman tebu tidak terpengaruh

dengan adanya aliran asam dan berdasar referensi dari Hawalid et al., (2018) tanaman tebu memiliki varietas yang dapat beradaptasi menyesuaikan kondisi lingkungan yang ditanaminya termasuk pada lahan dengan kondisi tanah asam. Hal ini sesuai dengan data dari BPS Kabupaten Situbondo dimana produktivitas tebu dari tahun 2015 – 2017 justru mengalami peningkatan.

Kawasan pertanian Asembagus sejauh ini masih menggunakan aliran irigasi yang bersumber dari air asam Kawah Ijen. Dengan adanya permasalahan yang terjadi, maka sangat penting untuk melakukan analisis karakteristik pada tanah permukaan sebagai media tumbuh komoditas dan sekaligus sebagai kunci dalam analisis dampak aliran irigasi asam terhadap produktivitas pertanian. Oleh karena itu, pemetaan distribusi tingkat keasaman tanah (*salinity index rate distribution*) perlu dilakukan di lokasi penelitian, sebagai upaya manajemen lahan pertanian terkontaminasi air asam dan sebagai pertimbangan mitigasi terhadap dampaknya pada produktivitas pertanian.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan Masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbedaan nilai temporal indeks salinitas pada musim kemarau tahun 2000 dan 2021?
2. Bagaimana nilai temporal indeks salinitas tanah pada area sawah dengan irigasi air asam dan air netral tahun 2000 dan 2021?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perbedaan nilai temporal indeks salinitas pada musim kemarau tahun 2000 dan 2021.
2. Menghitung nilai temporal indeks salinitas tanah pada area sawah dengan irigasi air asam dan air netral tahun 2000 dan 2021.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi terkait distribusi tingkat keasaman tanah akibat adanya pencemaran aliran asam terhadap pertanian di Kecamatan Asembagus.
2. Sebagai referensi bagi pemerintah daerah dalam mengatasi pencemaran air asam yang terjadi, khususnya pemerintah Kabupaten Situbondo.

1.5. Asumsi Penelitian

Asumsi pada penelitian ini adalah:

Tanah permukaan di area pertanian yang mendapat irigasi dari sungai asam mengalami perubahan nilai indeks salinitas tanah dari tahun ke tahun. Setiap tahun ada masa ketika musim kemarau, pertanian memanfaatkan aliran air asam sebagai sumber irigasi, hal ini menjadi salah satu penyebab meningkatnya nilai indeks salinitas tanah.

1.6. Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini diantaranya:

1. Lokasi penelitian berada di Kecamatan Asembagus, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur.
2. Pemetaan distribusi tingkat keasaman tanah (*salinity index rate distribution*).
3. Data utama yang digunakan pada pemetaan ini antara lain jaringan irigasi, produktivitas pertanian dan citra Satelit Landsat 7 ETM⁺ tahun 2000 dan Landsat 8 OLI tahun 2021.
4. Pemetaan dilakukan menggunakan *software* ArcGIS.
5. Komoditas pertanian yang menjadi acuan penelitian adalah padi dan jagung.
6. Area lokasi studi kasus dibagi menjadi 2 yaitu area asam dan area netral.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kawah Ijen

Danau Kawah merupakan danau yang terbentuk akibat dari aktivitas gunung berapi. Gunung api yang meletus, kemudian menyebabkan batuan bagian kepundan (penutup kawah) terlempar dan meninggalkan bekas lubang hingga berbentuk seperti danau. Ketika hujan, danau tersebut terisi oleh air hingga terbentuklah danau kawah (Nailufar, 2020).

Kawah Ijen yang terbentuk setelah letusan memiliki lubang sangat besar dengan ukuran 19.000 x 21.000 m di bagian atasnya dan 22.000 x 25.000 m pada bagian atasnya (*rim crater*) yang kemudian disebut sebagai Kaldera Ijen. Dalam perkembangannya selanjutnya, di tengah kaldera terbentuk sebuah danau kawah yang menjadi pusat kegiatan vulkanik saat ini yang berukuran 1.160 x 1.160 m bagian atas dan 960 x 600 m pada bagian dasar kawah yang terisi air.

Kawah Ijen merupakan kawah yang bersifat asam dikarenakan memiliki pH yang tidak terukur atau sama dengan nol (0). Kadar keasaman tersebut bervariasi mengikuti kondisi musim yang terjadi, pH mencapai angka 0,5 – 0,8 selama musim hujan dan dibawah nol selama musim kemarau. Kawah yang bersifat asam ini dapat menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan di sekitarnya (Wittiri & Agusta, 2015). Air kawah Ijen memiliki warna hijau muda dengan uap air tipis serta gelembung kecil dekat solfatara berwarna putih tipis kekuningan (Badan Geologi, 2014).

Penyebab pH air Kawah Ijen rendah adalah terjadinya interaksi antara air dan gas magma yang mengandung senyawa SO₂, HCl, HF dan lainnya yang menghasilkan kandungan sulfat klorida dan fluorida dengan konsentrasi yang pekat pada air kawah (Sumarti, 2006). Selain bersifat asam, air Kawah Ijen mengandung senyawa logam berat seperti Ca, Al, Fe, Cl, F, SO₄, Na, K, Cu, Zn, Pb, dan lainnya. Untuk mengatasi senyawa logam berat yang akan keluar dari kawah dan mempengaruhi ekosistem di

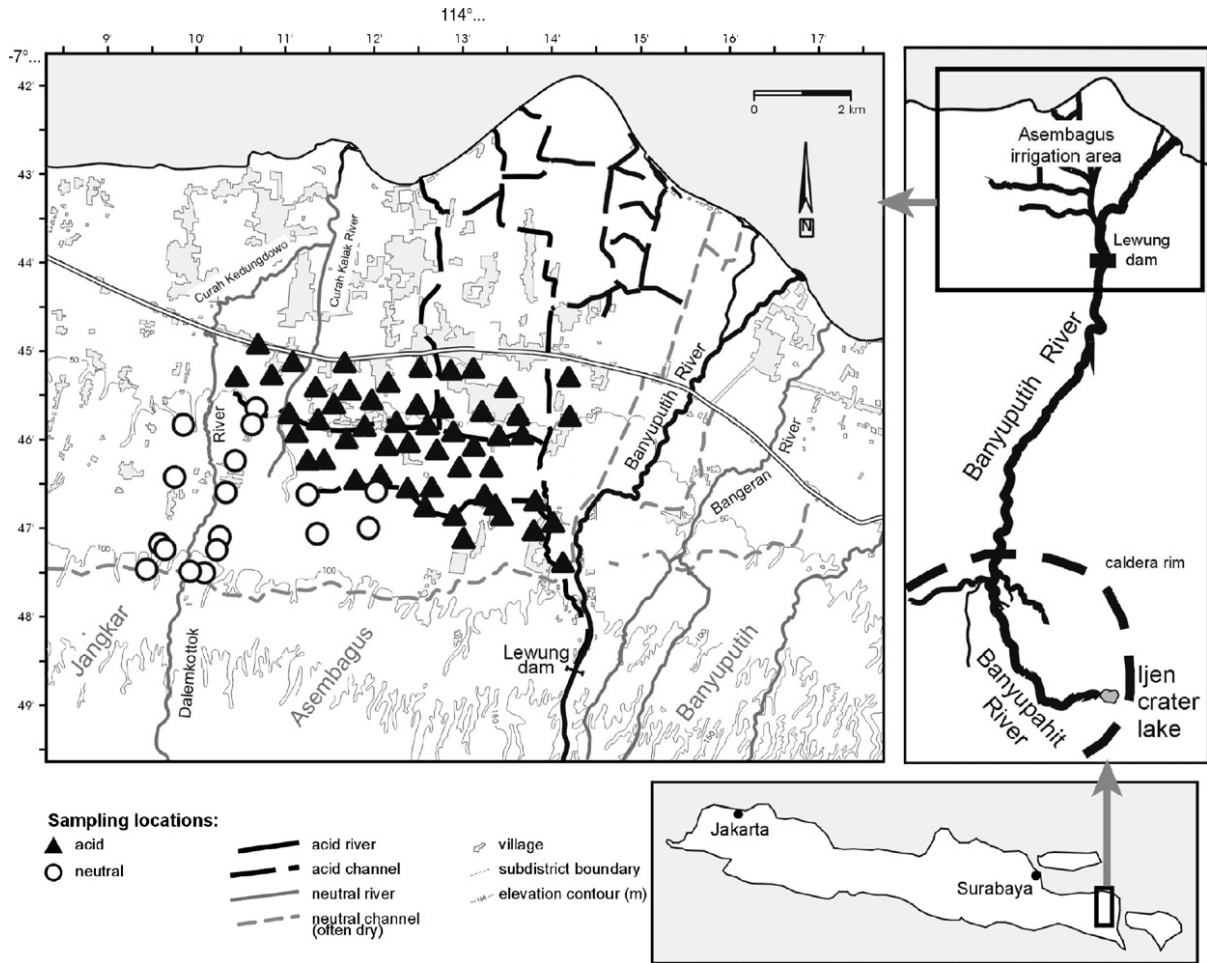
sekitarnya, pemerintah setempat membangun sebuah bendungan pada sisi barat kawah pada tahun 1927 dengan material utama berupa beton dengan tujuan untuk mengontrol ketinggian muka air kawah agar tidak menyebabkan banjir air asam masuk ke aliran Sungai Banyupahit. Namun bendungan ini sekarang tidak berfungsi karena air tidak pernah mencapai pintu air akibat adanya rembesan/bocoran di bawah bendungan (Badan Geologi, 2014).

2.2. Dampak Air Asam Kawah Ijen

Air asam secara umum memiliki pengertian yaitu air yang memiliki kadar pH rendah (<7) (Ala et al, 2018). Pengamatan yang dilakukan Zelenov (1969) menjelaskan bahwa air asam Kawah Ijen yang masuk ke aliran Sungai Banyuputih menyebabkan terjadinya pencampuran antara air asam dengan air tawar. Penelitian lebih lanjut dilakukan oleh Zelenov dengan mengidentifikasi air di hulu sungai yang memiliki kecepatan aliran 20 liter/detik, setiap detik aliran air sungai tersebut mengandung 100 g aluminium dan 700 mg titanium. Sungai Banyuputih dimanfaatkan masyarakat Asembagus untuk mengairi area persawahan dengan debit kurang lebih 4.000 liter/detik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Delmelle et al (2000), menunjukkan bahwa pada tahun 1996 sebanyak 150 ton sulfat, 2,8 ton fluorida, 50 ton klorida, 10 ton aluminium, 34 ton silika, 0,42 ton Mangan, 0,035 ton titanium dan 0,004 ton tembaga masuk ke dalam sistem jaringan irigasi setiap harinya. Pengamatan lanjutan pernah dilakukan oleh Delmelle ketika mengamati air Sungai Banyuputih yang langsung dialirkan menuju ke laut. Hasilnya, organisme di sekitar pantai yang tercemar air asam mengalami kematian menandakan bahwa air tersebut beracun.

Air irigasi yang tercemar aliran asam dapat menurunkan kadar pH tanah dan meningkatkan salinitas (EC) tanah pada tanah permukaan hingga kedalaman 3 m (van Rotterdam-Los et al., 2008). Lebih lanjut van Rotterdam-Los menjelaskan bahwa pencemaran pada tanah pertanian di Asembagus menyebabkan perubahan komposisi Kapasitas Pertukaran Kation (*Cation Exchange Capacity*) dari dominasi mineral Ca dan Mg menjadi dominasi mineral Al dan Si, melalui proses pencucian (*leaching*) pada

tanah permukaan. Proses *leaching* dapat mengakibatkan penurunan unsur hara pada tanah sehingga menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat. Peta jaringan irigasi pertanian di Kecamatan Asembagus dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1. Jaringan Irigasi Pertanian di Kecamatan Asembagus

Sumber: (van Rotterdam-Los, 2008)

2.3. Dampak Salinitas Tanah

Salinitas merupakan garam terlarut yang terdapat pada air atau dapat juga disebut dengan tingkat keasinan pada air. Salinitas tanah merupakan tanah yang memiliki kadar garam mudah larut dengan konsentrasi tinggi. Area pertanian yang berada di zona kering dan semi kering berpotensi mengalami salinisasi pada tanah

karena curah hujan yang rendah, sehingga proses pencucian garam tidak optimal. Dampak yang ditimbulkan dari tingginya kadar garam pada tanah pertanian menyebabkan penurunan tekanan osmotik, sitotoksisitas ion serta berkurangnya kandungan nutrisi (Kamran et al., 2020). Kadar garam yang tinggi menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan struktur tanah, akibatnya aerasi serta permeabilitas tanah menurun. Konsentrasi kandungan ion Na yang terlalu banyak pada tanah salin menyebabkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman menurun, karena kekurangan ion-ion seperti Ca, Mg dan K (Muliawan, 2016). Tingkat salinitas tanah yang tinggi memiliki hubungan dengan pencemaran air asam ($\text{pH} < 7$), karena pada air dengan pH rendah terdapat garam-garam yang cenderung bersifat asam, dan semakin rendah nilai pH maka nilai salinitasnya akan semakin tinggi (Ala et al, 2018).

Salinitas tanah menjadi masalah yang serius dalam produktivitas hasil pertanian. Dampak tanah salin terhadap sektor pertanian menyebabkan pertumbuhan, kualitas serta hasil tanam menurun. Terhambatnya pertumbuhan serta penurunan kualitas tanaman terjadi karena proses penyerapan air pada tanah menurun serta terdapat kerusakan pada struktur tanah. Penyerapan air dari tanah menjadi terbatas akibat terjadi keracunan ion, unsur hara (N, Ca, K, P, Fe, Zn) yang berkurang, cekaman osmotik serta stres oksidatif pada tanaman. Salinitas mempengaruhi proses fotosintesis pada tanaman melalui berkurangnya lebar daun, kandungan klorofil dan konduktansi stomata. Hampir semua aspek pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh salinitas termasuk pertumbuhan kecambah, perkembangan vegetatif dan peningkatan reproduksi (Hailu et al., 2021).

2.4. Citra Satelit Landsat 7 ETM⁺ dan Landsat 8 OLI

Satelit Landsat merupakan satelit yang merekam sumber daya bumi milik NASA (*National Aeronautical and Space Administration*) yang berasal dari Amerika Serikat. Satelit Landsat 7 ETM⁺ (*Enhanced Thematic Mapper*) diluncurkan pada tahun 1990-an dan berada di ketinggian sekitar 700 km dari permukaan bumi. Memiliki 7 *band* multispektral dan 1 *band* pankromatik. Waktu yang dibutuhkan Satelit Landsat 7

ETM⁺ untuk mengelilingi bumi sebanyak 16 hari (Hariyanto et al., 2010). Karakteristik dari Satelit Landsat 7 ETM⁺ dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1. Karakteristik Citra Satelit Landsat 7 ETM⁺

Satelit Landsat 7 ETM ⁺				
Gelombang	Kanal Spektral (µm)	Resolusi Spasial	Lebar Cakupan	Peliputan Ulang
<i>Blue</i>	<i>Band 1</i> : 0,45 – 0,52	30 m		
<i>Green</i>	<i>Band 2</i> : 0,52 – 0,61	30 m		
<i>Red</i>	<i>Band 3</i> : 0,63 – 0,69	30 m		
<i>Near Infrared</i>	<i>Band 4</i> : 0,76 – 0,90	30 m	185 km	16 hari
<i>Short Wave Infrared 1</i>	<i>Band 5</i> : 1,55 – 1,75	30 m		
<i>Thermal Infrared 1</i>	<i>Band 6</i> : 10,40 – 12,50	60 m		
<i>Short Wave Infrared 2</i>	<i>Band 7</i> : 2,09 – 2,35	30 m		
<i>Panchromatic</i>	<i>Band 8</i> : 0,52 – 0,90	15 m		

Sumber: <http://landsat.usgs.gov>.

Pada Landsat 7 ETM⁺, *Band 1* digunakan untuk memetakan area pantai serta membedakan antara tanah dengan vegetasi; *Band 2* digunakan untuk mengetahui kekuatan tumbuhan; *Band 3* digunakan untuk membedakan jenis vegetasi; *Band 4* digunakan untuk mengetahui kadar biomassa dan deliniasi pada air; *Band 5* digunakan untuk mengetahui kelembaban tanah dan vegetasi; *Band 6* digunakan untuk menganalisis tekanan pada vegetasi, mengetahui kelembaban tanah, serta dapat melakukan pemetaan termal; *Band 7* digunakan untuk mengetahui perbedaan tipe batuan dan pemetaan hidrotermal (Hariyanto et al., 2010); sedangkan *Band 8* berguna untuk menajamkan resolusi gambar (Prasetyo et al., 2019).

Satelit Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) memiliki 7 *band* reflektif dan 1 *band* inframerah, memiliki kegunaan untuk merfleksikan objek yang berada di permukaan bumi (Prasetyo et al, 2019). Karakteristik Satelit Landsat 8 OLI dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2. Karakteristik Citra Satelit Landsat 8 OLI

Satelit Landsat 8 OLI				
Gelombang	Kanal Spektral (μm)	Resolusi	Lebar	Peliputan
		Spasial	Cakupan	Ulang
<i>Coastal Aerosol</i>	<i>Band 1</i> : 0,43 – 0,45	30 m		
<i>Blue</i>	<i>Band 2</i> : 0,45 – 0,51	30 m		
<i>Green</i>	<i>Band 3</i> : 0,52 – 0,60	30 m		
<i>Red</i>	<i>Band 4</i> : 0,63 – 0,68	30 m		
<i>Near Infrared</i>	<i>Band 5</i> : 0,84 – 0,88	30 m		
<i>Short Wave Infrared 1</i>	<i>Band 6</i> : 1,36 – 1,39	30 m	185 km	16 hari
<i>Short Wave Infrared 2</i>	<i>Band 7</i> : 2,10 – 2,30	30 m		
<i>Panchromatic</i>	<i>Band 8</i> : 0,50 – 0,68	15 m		
<i>Cirrus</i>	<i>Band 9</i> : 1,36 – 1,38	30 m		
<i>Thermal Infrared 1</i>	<i>Band 10</i> : 10,60 – 11,19	100 m		
<i>Thermal Infrared 2</i>	<i>Band 11</i> : 11,50 – 12,51	100 m		

Sumber: <http://landsat.usgs.gov>.

Pada Satelit Landsat 8 OLI, *Band 1* digunakan untuk melakukan penelitian pada *coastal* dan *aerosol*; *Band 2* digunakan untuk membedakan jenis vegetasi dan melakukan pemetaan batimetri; *Band 3* digunakan untuk mengetahui ketahanan tanaman; *Band 4* digunakan sebagai pembeda lereng vegetasi; *Band 5* digunakan untuk mengetahui kadar biomassa dan peta garis pantai; *Band 6* digunakan untuk mengetahui kadar air tanah dan wilayah tanaman, serta awan tipis; *Band 7* digunakan untuk mengetahui kadar air tanah, tanaman, serta awan tipis; *Band 8* berfungsi untuk menajamkan resolusi gambar; *Band 9* berfungsi sebagai pendeteksi adanya kontaminasi dari awan *cirrus*; *Band 10* berfungsi untuk mengetahui kelembaban tanah serta pembuatan peta termal; *Band 11* berfungsi untuk pembuatan peta termal yang lebih sempurna dan mengetahui kelembaban tanah (Prasetyo et al., 2019).

Satelit Landsat 8 OLI dapat disebut sebagai penerus dari Satelit Landsat 7 ETM⁺ karena memiliki beberapa karakteristik yang sama seperti pada resolusi (spasial, spektral, temporal), ketinggian terbang, metode koreksi dan karakteristik sensor. Namun, pada Satelit Landsat 8 OLI terjadi penyempurnaan seperti jumlah kanal spektral yang bertambah (Amliana et al., 2016), serta peningkatan kualitas resolusi radiometrik sehingga kemampuan untuk menampilkan objek-objek pada permukaan bumi menjadi lebih detail. Resolusi Radiometrik yang terdapat pada Landsat 7 ETM⁺ sebesar 8 bit, sedangkan pada Landsat 8 OLI sebesar 16 bit (Oktaviani et al., 2016).

2.5. Integrasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi dan Geografis (SIG)

Penginderaan jauh merupakan sistem untuk mendapatkan data objek, wilayah atau fenomena dari suatu wilayah menggunakan analisis data, hingga diperoleh data yang diperlukan tanpa harus terjun langsung ke wilayah yang dikaji (Lillesand et al., 2004). Perhitungan indeks salinitas tanah dengan penginderaan jauh biasanya dilakukan menggunakan citra Satelit Landsat. Citra Satelit Landsat banyak digunakan untuk mendeteksi adanya garam mineral beserta peta salinitas pada suatu wilayah. Indeks salinitas tanah dibuat berdasarkan rumus indeks yang diturunkan dari kanal spektral citra Satelit Landsat. Kanal spektral citra satelit dan rumus indeks dimasukkan kedalam suatu persamaan untuk memperoleh hasil informasi pemetaan yang ingin diketahui (Delavar et al., 2020).

Sistem Informasi dan Geografis (SIG) merupakan sebuah sistem teknologi informasi yang digunakan untuk menganalisis, mengumpulkan serta menyimpan objek atau fenomena yang ada di permukaan bumi berdasarkan referensi geografis (Kholil, 2017). Dalam proses pemetaan distribusi indeks salinitas tanah, SIG sangat erat kaitannya dengan penginderaan jauh. SIG berfungsi untuk mengkaji dan menganalisis data objek atau fenomena yang berasal dari proses penginderaan jauh. Kemampuan mendasar SIG adalah dapat mengintegrasikan data secara *overlay*, dengan cara menyatukan *layers* dari berbagai sumber dan informasi yang berbeda-beda (Louhenapessy et al., 2009).

2.6. Pemetaan Indeks Salinitas Tanah

Indeks salinitas tanah merupakan nilai salinitas dengan konsentrasi tertentu yang ada didalam tanah (Wilczek et al., 2017). Pada prinsipnya indeks salinitas tanah dibuat dengan cara mendeteksi konsentrasi salinitas tanah menggunakan berbagai percobaan pada berbagai macam kanal spektral. Mendeteksi salinitas tanah dilakukan menggunakan beberapa data satelit penginderaan jauh seperti *Landsat Multispectral Scanning* (MSS), *The Matic Mapper* (TM), dan *Enhanced Thematic Mapper* (ETM⁺) serta *Operational Land Imager* (OLI-8) (Elhag, 2016).

Beberapa indeks citra satelit yang digunakan untuk membantu dalam melakukan pemetaan indeks salinitas yaitu *Salinity Index* (SI), *Normalized Differential Salinity Index* (NDSI), *Brightness Index* (BI), *Normalized Differential Vegetation Index* (NDVI), *Vegetation Soil Salinity Index* (VSSI) dan *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (Asfaw et al., 2018).

Salinity Index (SI) digunakan untuk menajamkan kualitas gambar salinitas, karena memiliki kesesuaian yang tinggi terhadap *electrical conductivity* (EC) berdasarkan Persamaan 1 dari Dehni et al., (2012).

$$(SI) = \sqrt{Band\ 3 * Band\ 4} \dots\dots\dots(1)$$

Vegetation Soil Salinity Index (VSSI) digunakan untuk menemukan perbedaan korelasi antara tanah dengan vegetasi pada area yang terdapat salinitas. Pada penelitian yang dilakukan tahun 1987, VSSI dan NDSI memiliki koefisien korelasi 93% dalam penggambaran indeks salinitas dan vegetasi. Rumus Persamaan 2 dari Dehni et al., (2012) sebagai berikut.

$$(VSSI) = 2 \times Band\ 2 - 5 \times (Band\ 3 + Band\ 4) \dots\dots\dots(2)$$

Dalam penggunaannya, *Normalized Differential Salinity Index* (NDSI) berfungsi untuk menentukan pemetaan area salinitas dan menampilkan perhitungan gambar komposit berdasarkan Persamaan 3 dari Khan et al., (2001).

$$(NDSI) = \frac{[Band\ 3 - Band\ 4]}{[Band\ 3 + Band\ 4]} \dots\dots\dots(3)$$

Selain NDSI, *Normalized Differential Vegetation Index* (NDVI) juga digunakan untuk melakukan pemetaan area salinitas. Persamaan 4 berdasarkan Khan et al., (2005) dapat dilihat sebagai berikut.

$$(NDVI) = \frac{[Band\ 4 - Band\ 3]}{[Band\ 3 + Band\ 4]} \dots\dots\dots(4)$$

Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) digunakan untuk mengidentifikasi area yang terkena salinitas. Cara kerja dari SAVI yaitu semakin rendah nilai indeks maka salinitas tanah semakin meningkat. SAVI dapat mendeteksi perubahan vegetasi dan mendeteksi kesehatan tanaman di area yang tercemar salinitas. Rumus Persamaan 5 dari Alhammadi et al., (2008) sebagai berikut.

$$(SAVI) = (1 + L) \frac{Band\ 4 - Band\ 3}{L + Band\ 4 + Band\ 3} \dots\dots\dots(5)$$

Rumus-rumus persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung, mendeteksi dan menginterpretasikan hasil pemetaan indeks salinitas tanah dan vegetasi dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3. Rumus-rumus Analisis Indeks Salinitas Tanah

No.	Nama Indeks	Rumus Indeks	Sumber
1.	<i>Salinity Index</i> (SI)	$\sqrt{Band\ 3 * Band\ 4}$	(Dehni et al., 2012)
2.	<i>Normalized Difference Salinity Index</i> (NDSI)	$\frac{[Band\ 3 - Band\ 4]}{[Band\ 3 + Band\ 4]}$	(Khan et al., 2001)
3.	<i>Brightness Index</i> (BI)	$\sqrt{Band\ 3^2 + Band\ 4^2}$	(Khan et al., 2005)

No.	Nama Indeks	Rumus Indeks	Sumber
4.	<i>Normalized Differential Vegetation Index</i> (NDVI)	$\frac{[Band\ 4 - Band\ 3]}{[Band\ 3 + Band\ 4]}$	(Khan et al., 2005)
5.	<i>Vegetation Soil Salinity Index</i> (VSSI)	$2 \times Band\ 2 - 5 \times (Band\ 3 + Band\ 4)$	(Dehni et al., 2012)
6.	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i> (SAVI)	$\frac{(1 + L)(Band\ 4 - Band\ 3)}{L + Band\ 4 + Band\ 3}$	(Alhammadi et al., 2008)
7.	<i>Salinity Index 2</i>	$\sqrt{Green + Red}$	(Douaoui et al., 2006)
8.	<i>Salinity Index 4</i>	$\sqrt{Green^2 + Red^2}$	(Douaoui et al., 2006)
9.	<i>Salinity Index 9</i>	$\frac{(B_5 \times B_6 - B_6 \times B_6)}{B_5}$	(Bannari et al., 2008)
10.	<i>Salinity Index 10</i>	$\frac{Band\ 1}{Band\ 3}$	(Abbas et al., 2007)
11.	<i>Salinity Index 14</i>	$\frac{(Green \times Red)}{Blue}$	(Abbas et al., 2007)

2.7. Rangkuman Penelitian Terdahulu

Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dapat membantu untuk memperbanyak studi literatur yang akan digunakan sebagai sumber referensi atau sumber informasi tambahan yang dibutuhkan dalam melakukan penyusunan penelitian ini. Rangkuman penelitian terdahulu dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4. Penelitian Terdahulu

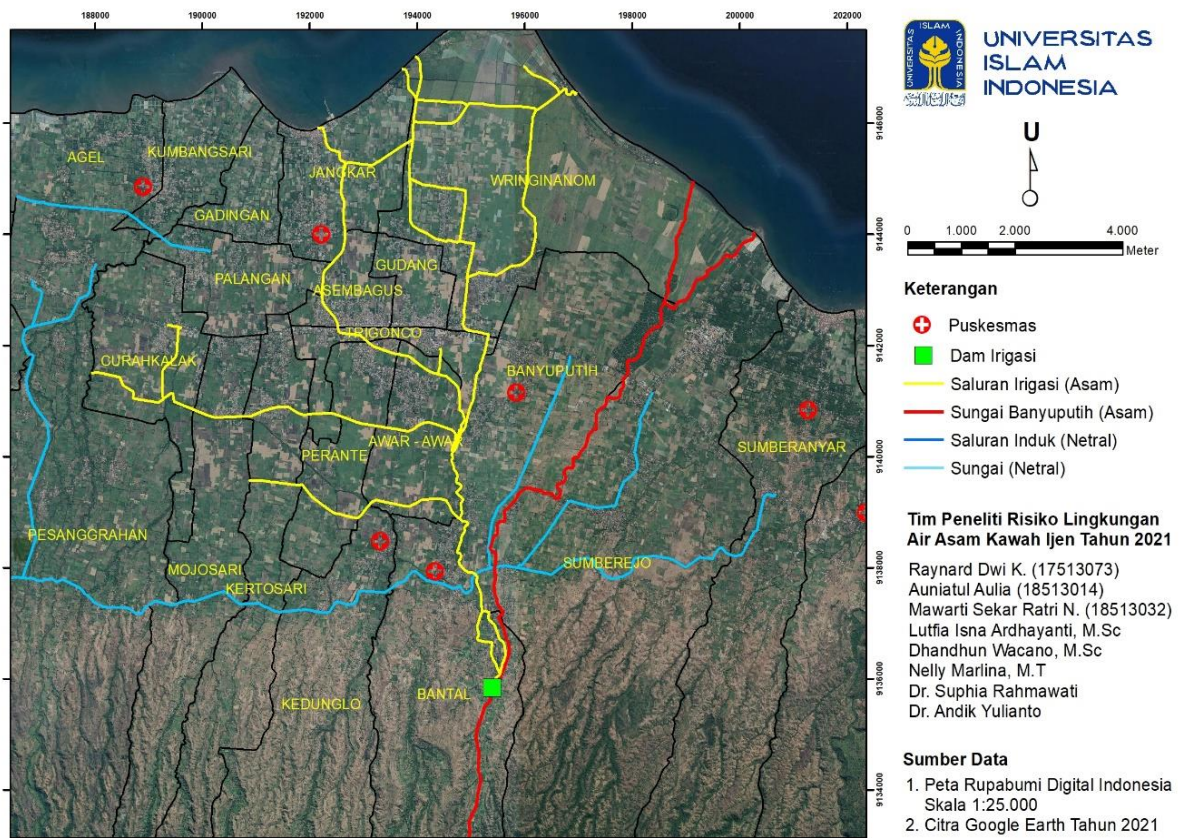
No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Delmelle & Bernard (2000)	<i>Downstream composition changes of acidic volcanic waters discharged into the Banyupahit stream, Ijen caldera, Indonesia</i>	Pada tahun 1996 sebanyak 150 ton sulfat, 2,8 ton fluorida, 50 ton klorida, 10 ton aluminium, 34 ton silika, 0,42 ton Mangan, 0,035 ton titanium dan 0,004 ton tembaga masuk ke dalam sistem jaringan irigasi setiap harinya.
2.	Heikens et al., (2005)	<i>The impact of the hyperacid Ijen Crater Lake. Part I: Concentrations of elements in crops and soil</i>	Pada musim kemarau (April-Oktober) air Sungai Banyuputih digunakan untuk mengalir jaringan irigasi pertanian, sedangkan ketika musim penghujan (November-Maret) air dari Sungai Banyuputih tidak digunakan untuk irigasi.
3.	Löhr et al., 2005	<i>Natural Pollution Caused by the Extremely Acidic Crater Lake Kawah Ijen, East Java, Indonesia</i>	Air Kawah Ijen memiliki nilai pH sangat rendah dan kadar logam tinggi. Akibatnya hasil produksi pertanian mengalami tren penurunan produktivitas, karena air yang digunakan melebihi baku mutu air irigasi.
4.	van Rotterdam-Los et al., (2008)	<i>The effect of naturally acidified irrigation water on agricultural volcanic soils. The case of Asembagus, Java, Indonesia</i>	Aliran irigasi asam memberi pengaruh signifikan terhadap perubahan komposisi kimia pada lapisan tanah permukaan. Tanah yang tercemar aliran asam, mengalami penurunan pH,

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			peningkatan salinitas, serta perubahan kandungan komposisi pada tanah.
5.	Widianarko et al., (2006)	<i>Risk perception of pollution from the Kawah Ijen crater lake among the local communities in the Asembagus irrigation area</i>	Sebanyak 74% responden menjawab tanaman padi, jagung, dan tebu terdampak air irigasi asam.
6	Dehni et al., 2012	<i>Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping Application to the Oran Region of Algeria</i>	Penggunaan citra Satelit Landsat dengan metode multi temporal (1987, 2002 dan 2009) sangat berguna untuk mendeteksi salinitas tanah dan menemukan hubungan peningkatan salinitas dengan musim kemarau.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Kecamatan Asembagus, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur dengan metode penginderaan jauh menggunakan data citra Satelit Landsat 7 ETM⁺ dan Landsat 8 OLI untuk menganalisis karakteristik salinitas tanah pada area pertanian yang menggunakan air irigasi asam dan area irigasi netral. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3.1. Peta Lokasi Penelitian

3.2. Metode Pengumpulan Data

3.2.1. Perangkat Pengolahan Data

Perangkat lunak yang digunakan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini adalah ArcGIS 10.8.

3.2.2. Data

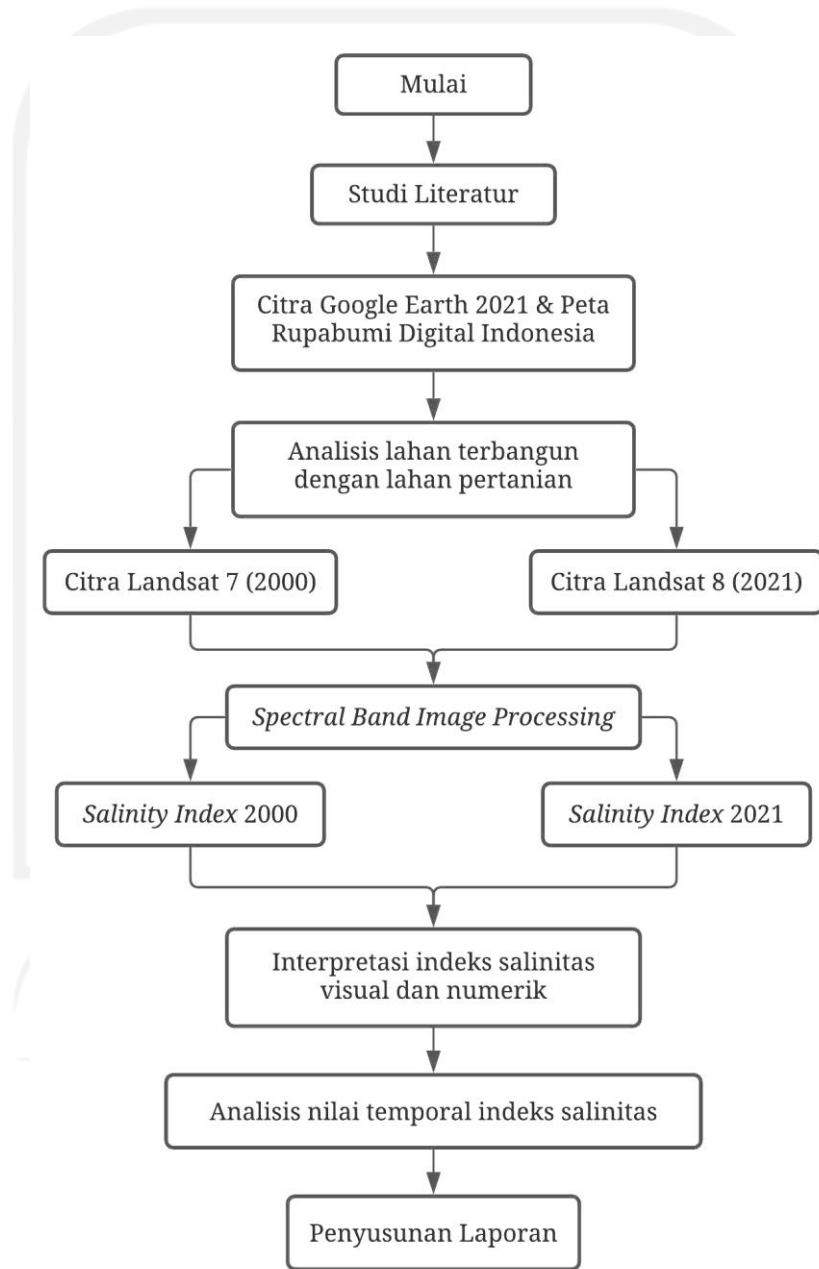
Data yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini berupa data sekunder yang berasal dari studi literatur. Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini antara lain:

Tabel 3.1. Data Sekunder

No.	Data	Tahun	Sumber
1.	Produktivitas hasil pertanian padi dan jagung Kecamatan Asembagus, Banyuputih dan Jangkar	2013-2020	Dinas Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan (DTPHP) Kabupaten Situbondo
2.	Produktivitas hasil pertanian tebu Kecamatan Asembagus, Banyuputih dan Jangkar	2015-2017	Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Situbondo
3.	Citra Google Earth- <i>TerraMetrics imagery</i>	Maret 2021	Google Earth
4.	Citra Satelit Landsat 7 ETM ⁺	2000	USGS Earth Explorer
5.	Citra Satelit Landsat 8 OLI	2021	USGS Earth Explorer
6.	Data Rupabumi Indonesia digital skala 1:25.000	2021	INA-Geoportal

3.3. Alur Penelitian

Alur penelitian merupakan gambaran singkat dari proses penelitian yang sedang dikerjakan. Tahapan alur penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut (Gambar 3.2).



Gambar 3.2. Alur Penelitian

3.4. Proses Analisis Data

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui korelasi antara salinitas tanah dengan produktivitas pertanian. Berikut adalah penjelasan mengenai tahap pengerjaan dalam penelitian ini.

3.4.1. Input Data

Input data yang dibutuhkan dapat dilihat pada **Tabel 3.1** berikut ini:

Tabel 3.2. Input Data

Data	Sub data	Fungsi
Produktivitas pertanian	Jagung dan padi tahun 2013-2020	Analisis korelasi dampak
Citra Google Earth	Peta	Peta lokasi studi kasus
Citra Landsat-7 ETM ⁺	<i>Band Green, Band Red dan Band Blue</i>	Perhitungan SI (<i>Salinity Index</i>)
Citra Landsat-8 OLI	<i>Band Green, Band Red dan Band Blue</i>	Perhitungan SI (<i>Salinity Index</i>)
Peta Rupabumi Digital Indonesia skala 1:25.000	Peta	Kondisi geografis lokasi studi kasus

3.4.2. Pengolahan Data

Citra Satelit Landsat 7 ETM⁺ menggunakan data citra tahun 2000 merujuk pada keasaman puncak di Kecamatan Asembagus tahun 1999 – 2001. Sedangkan citra Satelit Landsat 8 OLI menggunakan data citra tahun 2021 merujuk pada data hasil produksi pertanian terakhir. Kedua data citra satelit tersebut diolah menggunakan persamaan yang digunakan untuk mengidentifikasi indeks salinitas tanah. Rumus persamaan yang digunakan dalam analisis indeks salinitas tanah pada citra Satelit Landsat 7 ETM⁺ (2000) dan citra Satelit Landsat 8 OLI (2021) sebagai berikut.

$$(SI) = \frac{(Green \times Red)}{Blue} \dots\dots\dots (Abbas et al., 2007)$$

Salinitas tanah dapat dihitung berdasarkan rasio *red band* dan *green band* terhadap *blue band*. Rumus indeks yang digunakan untuk mengolah data citra Landsat 7 ETM⁺ tahun 2000 dan citra Landsat 8 OLI tahun 2021 adalah $\frac{(Green \times Red)}{Blue}$. Hasil yang diperoleh dari pengolahan citra Satelit Landsat 7 ETM⁺ dan Satelit Landsat 8 OLI adalah peta dan indeks salinitas tanah pertanian di Kecamatan Asembagus pada tahun 2000 dan 2021.

3.4.3. Analisis Data

Tahap analisis dilakukan untuk mengetahui korelasi antara indeks salinitas tanah pertanian terhadap produktivitas hasil pertanian. Analisis data diawali dengan menghitung produktivitas pertanian pada komoditas tebu, padi dan jagung di lokasi studi kasus terdampak air asam. Kemudian melakukan interpretasi manual untuk menghitung luas lahan terbangun dan luas lahan pertanian. Setelah hasil luas lahan diperoleh, dilanjutkan dengan analisis data dari hasil pengolahan citra Satelit Landsat 7 ETM⁺ (2000) dan citra Satelit Landsat 8 OLI (2021), yang menghasilkan data indeks salinitas pada area asam dan area netral lokasi studi kasus. Analisis data indeks salinitas akan menghasilkan interpretasi data visual dan numerik. Interpretasi data visual merupakan data yang berbentuk peta indeks salinitas, sedangkan data numerik berupa data luas area terdampak yang mengandung indeks salinitas tinggi. Setelah semua data utama diperoleh, dilakukan analisis korelasi antara interpretasi visual dan numerik indeks salinitas terhadap produktivitas pertanian.

BAB IV

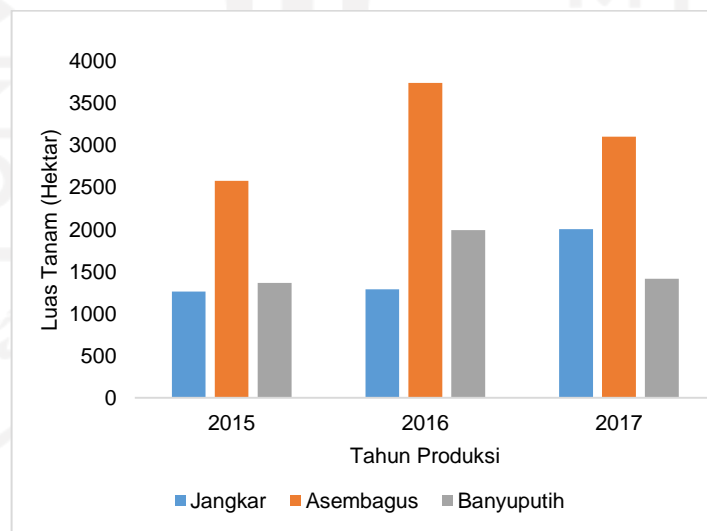
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Produktivitas Pertanian

Terdapat 3 kecamatan yang terdampak air asam Kawah Ijen di Kabupaten Situbondo Provinsi Jawa Timur yakni Kecamatan Asembagus, Kecamatan Banyuputih dan Kecamatan Jangkar. Komoditas pertanian seperti tebu, padi dan jagung menjadi komoditas dengan luas tanam yang besar setiap tahunnya di lokasi terdampak air asam.

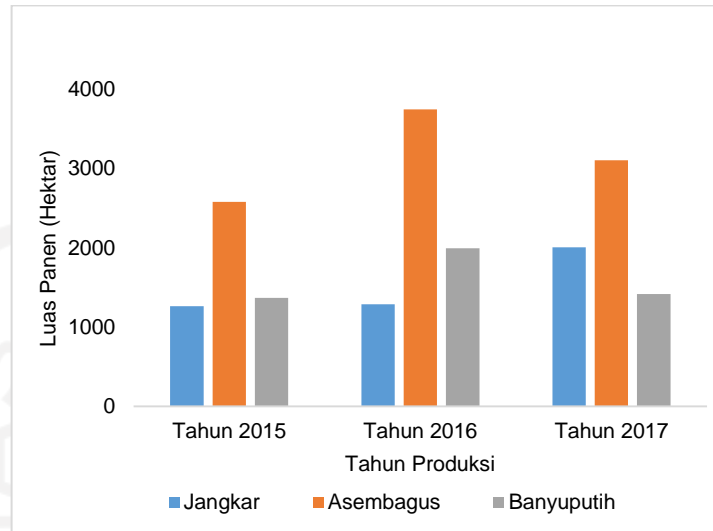
4.1.1. Komoditas Tebu

Tanaman tebu merupakan salah satu komoditas utama di lokasi studi kasus karena tahan dengan adanya aliran air irigasi asam serta di lokasi studi kasus tepatnya di Kecamatan Asembagus terdapat pabrik pengolahan tebu, sehingga diperlukan tebu dengan jumlah besar untuk diolah. Luas tanam dan luas panen tanaman tebu dapat dilihat pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2**.



Gambar 4.1. Grafik Luas Tanam Tebu (Hektar) di Lokasi Studi

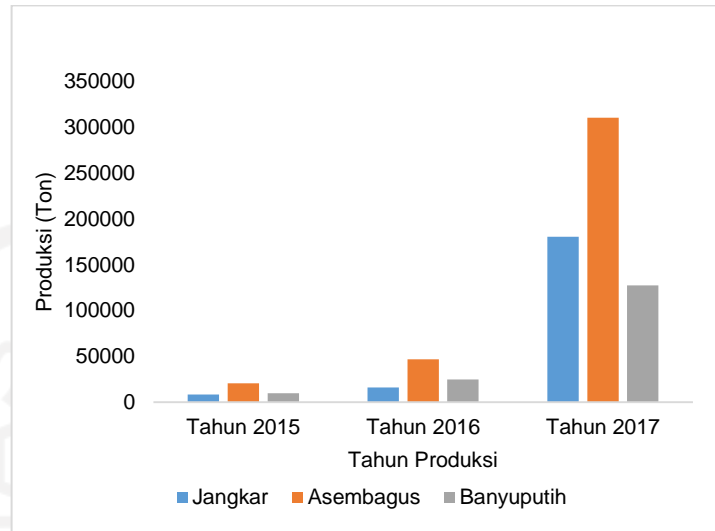
(Sumber: BPS Situbondo)



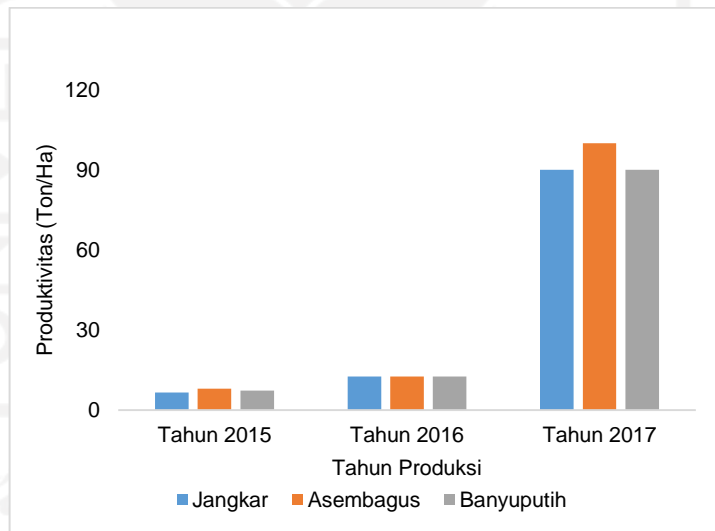
Gambar 4.2. Grafik Luas Panen Tebu (Hektar) di Lokasi Studi
(Sumber: BPS Situbondo)

Gambar 4.1 dan **Gambar 4.2** menunjukkan luas tanam dan luas panen tanaman tebu dalam kurun waktu 3 tahun yakni tahun 2015 – 2017, pada Kecamatan Jangkar terjadi tren peningkatan luas tanam dan luas panen, sedangkan di Kecamatan Asembagus dan Kecamatan Banyuputih mengalami tren fluktuatif pada luas tanam dan luas panen.

Data dari BPS Situbondo menunjukkan bahwa pada tahun 2015-2017 produksi tebu di Kecamatan Jangkar, Asembagus dan Banyuputih mengalami peningkatan signifikan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.3**. Hasil produksi tebu yang meningkat tersebut ikut mempengaruhi hasil produktivitas tebu yang juga mengalami peningkatan berdasarkan grafik pada **Gambar 4.4**. berikut.



Gambar 4.3. Grafik Produksi Tebu (Ton) di Lokasi Studi
(Sumber: BPS Situbondo)

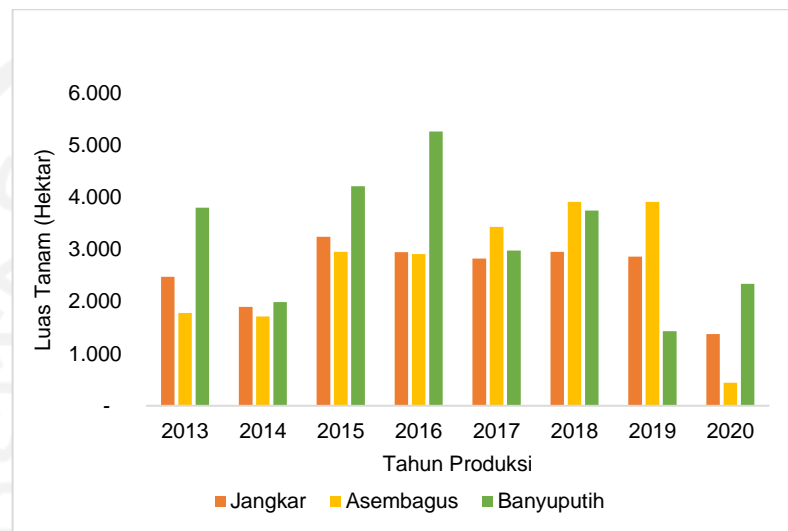


Gambar 4.4. Grafik Produktivitas Tebu (Ton/Ha) di Lokasi Studi
(Sumber: BPS Situbondo)

4.1.2. Komoditas Padi

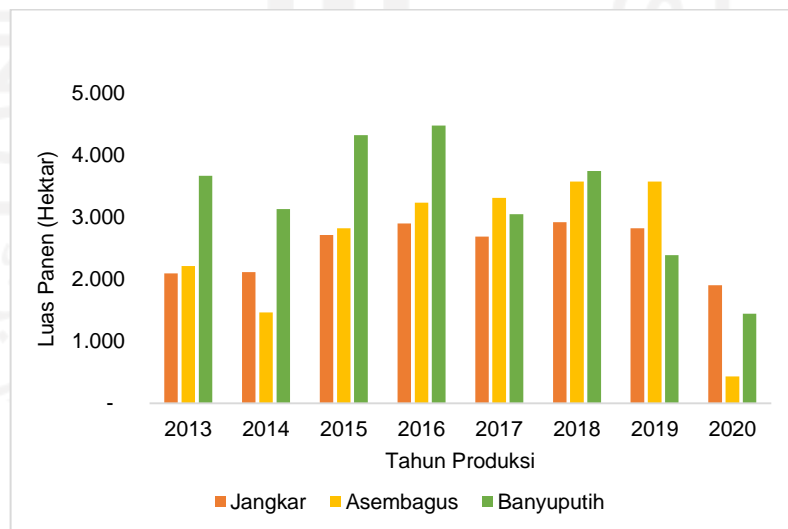
Berdasarkan data BPS Situbondo, pada tahun 2020, lahan pertanian yang digunakan untuk menanam padi seluas 3.131 hektar di Kec. Asembagus, 2.389 hektar di Kec. Banyuputih dan 2.826 hektar di Kec. Jangkar. Padi

merupakan salah satu komoditas penting bagi petani di lokasi studi kasus. Berikut adalah luas tanam dan luas panen padi yang dapat dilihat pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6**.



Gambar 4.5. Grafik Luas Tanam Padi (Hektar) di Lokasi Studi

(Sumber: DTPHP Kabupaten Situbondo 2020)

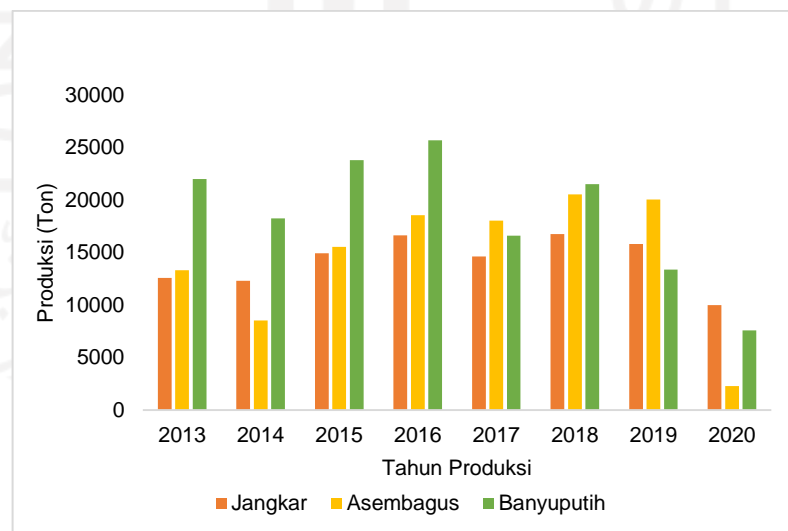


Gambar 4.6. Grafik Luas Panen Padi (Hektar) di Lokasi Studi

(Sumber: DTPHP Kabupaten Situbondo 2020)

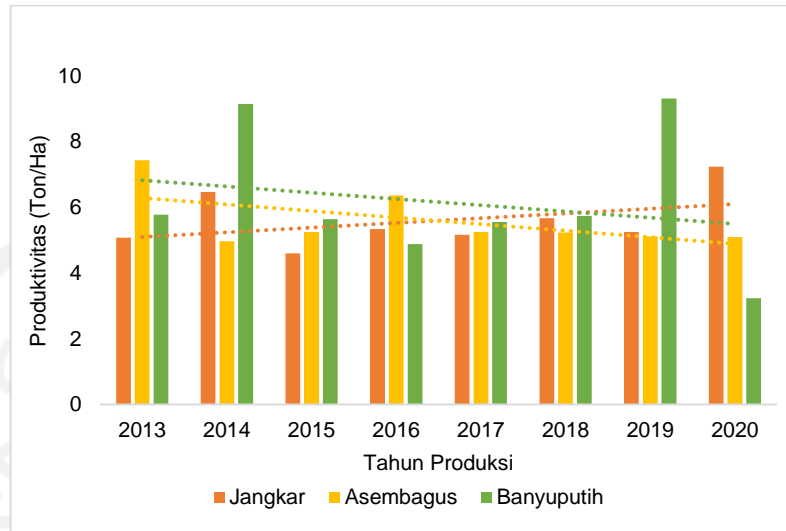
Berdasarkan data dari Dinas Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan (DTPHP) Kabupaten Situbondo tahun 2013 – 2020, hasil luas tanam dan luas panen padi yang ditampilkan pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** mengalami grafik peningkatan di Kecamatan Asembagus. Sedangkan pada Kecamatan Jangkar dan Kecamatan Banyuputih mengalami grafik fluktuatif.

Hasil produksi padi di Kecamatan Jangkar, Kecamatan Asembagus dan Kecamatan Banyuputih mengalami grafik fluktuatif yang dapat dilihat pada **Gambar 4.7**. Walaupun mengalami grafik fluktuatif pada luas tanam, luas panen dan produksi padi di ke-3 kecamatan, hal tersebut tidak berbanding lurus dengan produktivitas hasil padi di Kecamatan Asembagus karena mengalami grafik penurunan tiap tahunnya pada kurun waktu 2013 – 2020. Pada Kecamatan Jangkar mengalami grafik peningkatan setiap tahunnya, sedangkan pada Kecamatan Banyuputih mengalami grafik fluktuatif. Grafik produktivitas hasil padi ditunjukkan pada **Gambar 4.8** berikut. Padi memiliki batas toleransi terhadap salinitas sekitar 4 – 6 mS/m dan optimal pada nilai salinitas 2 mS/m (Muliawan, 2016)



Gambar 4.7. Grafik Produksi Padi (Ton) di Lokasi Studi

(Sumber: DTPHP Kabupaten Situbondo 2020)

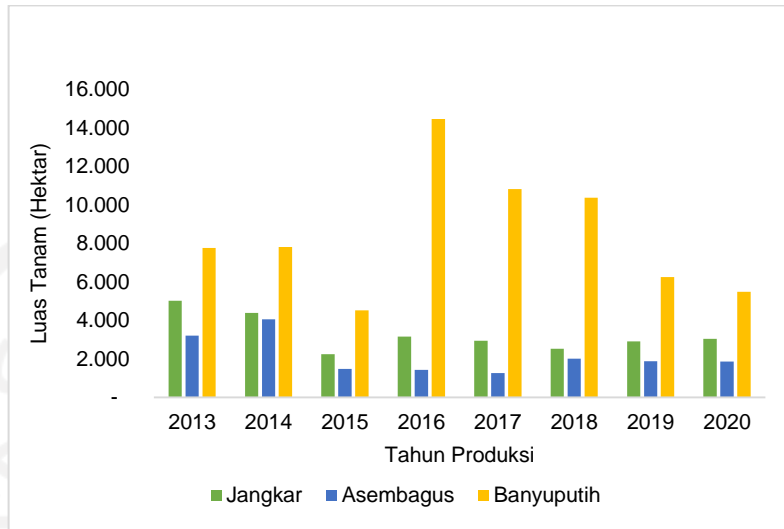


Gambar 4.8. Grafik Produktivitas Padi (Ton/Ha) di Lokasi Studi

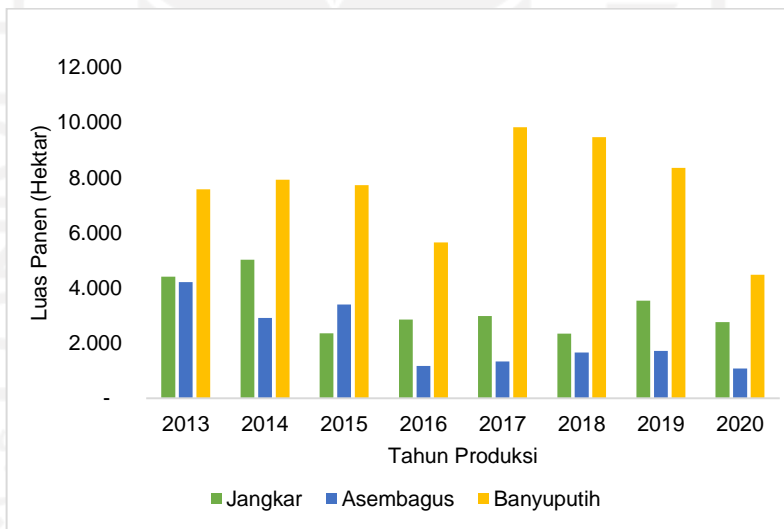
(Sumber: DTPHP Kabupaten Situbondo 2020)

4.1.3. Komoditas Jagung

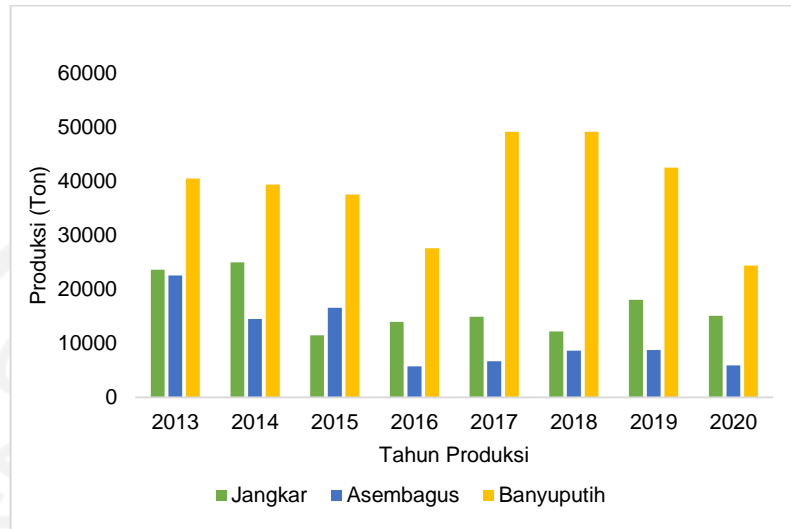
Komoditas tanaman jagung menjadi salah satu primadona selain tebu dan padi bagi petani di Kecamatan Jangkar, Kecamatan Asembagus dan Kecamatan Banyuputih. Pada tahun 2020, berdasarkan data dari Dinas Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan (DTPHP) Kabupaten Situbondo, total lahan yang digunakan untuk menanam jagung di Kecamatan Jangkar memiliki luas 3.029 hektar, sedangkan pada Kecamatan Asembagus luas lahan yang digunakan yaitu 1.853 hektar dan Kecamatan Banyuputih lahan yang digunakan seluas 5.489 hektar. Meskipun lahan yang digunakan untuk menanam jagung pada tahun 2020 terbilang cukup besar, jika ditarik garis dari tahun 2013 luas lahan yang digunakan untuk menanam jagung mengalami tren penurunan. Sehingga hal tersebut berdampak secara keseluruhan terhadap luas tanam, luas panen dan produksi jagung yang juga mengalami grafik penurunan pada kurun waktu 2013 – 2020 di Kecamatan Jangkar, Kecamatan Asembagus dan Kecamatan Banyuputih. Grafik luas tanam, luas panen dan produksi jagung dapat dilihat pada **Gambar 4.9**, **Gambar 4.10** dan **Gambar 4.11** berikut.



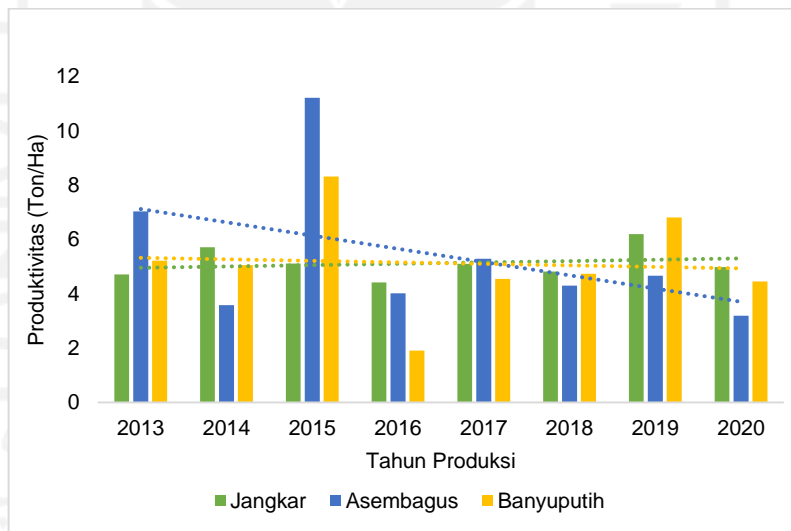
Gambar 4.9. Grafik Luas Tanam Jagung (Hektar) di Lokasi Studi
(Sumber: DTPHP Kabupaten Situbondo 2020)



Gambar 4.10. Grafik Luas Panen Jagung (Hektar) di Lokasi Studi
(Sumber: DTPHP Kabupaten Situbondo 2020)



Gambar 4.11. Grafik Produksi Jagung (Ton) di Lokasi Studi
(Sumber: DTPHP Kabupaten Situbondo 2020)



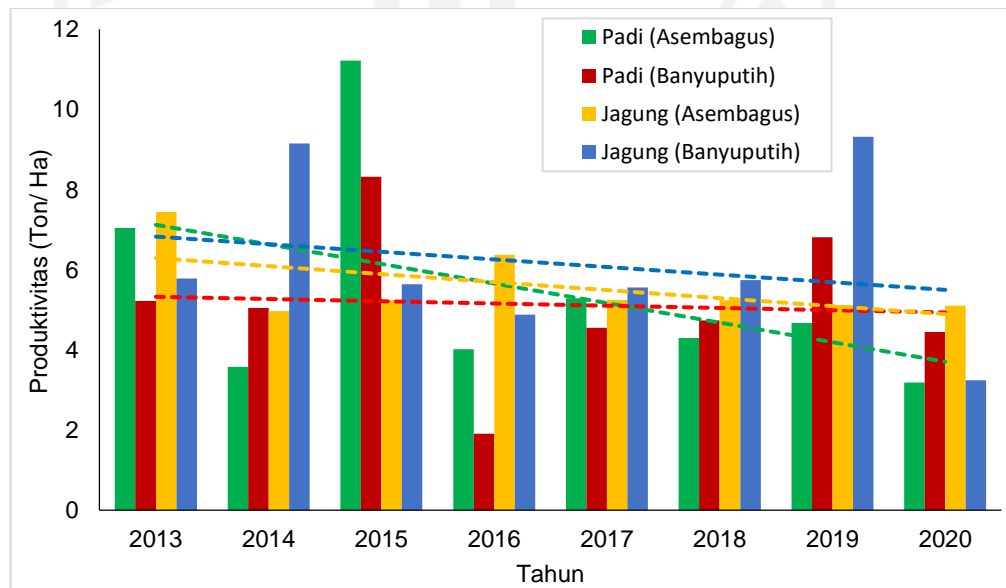
Gambar 4.12. Grafik Produktivitas Jagung (Ton/Ha) di Lokasi Studi
(Sumber: DTPHP Kabupaten Situbondo 2020)

Meskipun luas tanam, luas panen dan produksi jagung mengalami grafik penurunan tiap tahunnya, jika dilihat pada **Gambar 4.12** produktivitas jagung di Kecamatan Jangkar dan Banyuputih mengalami grafik fluktuatif, sedangkan

pada Kecamatan Asembagus tetap mengalami grafik penurunan produktivitas dampak dari luas lahan yang selalu berkurang.

4.1.4. Komoditas dan Lokasi Studi Kasus Penelitian

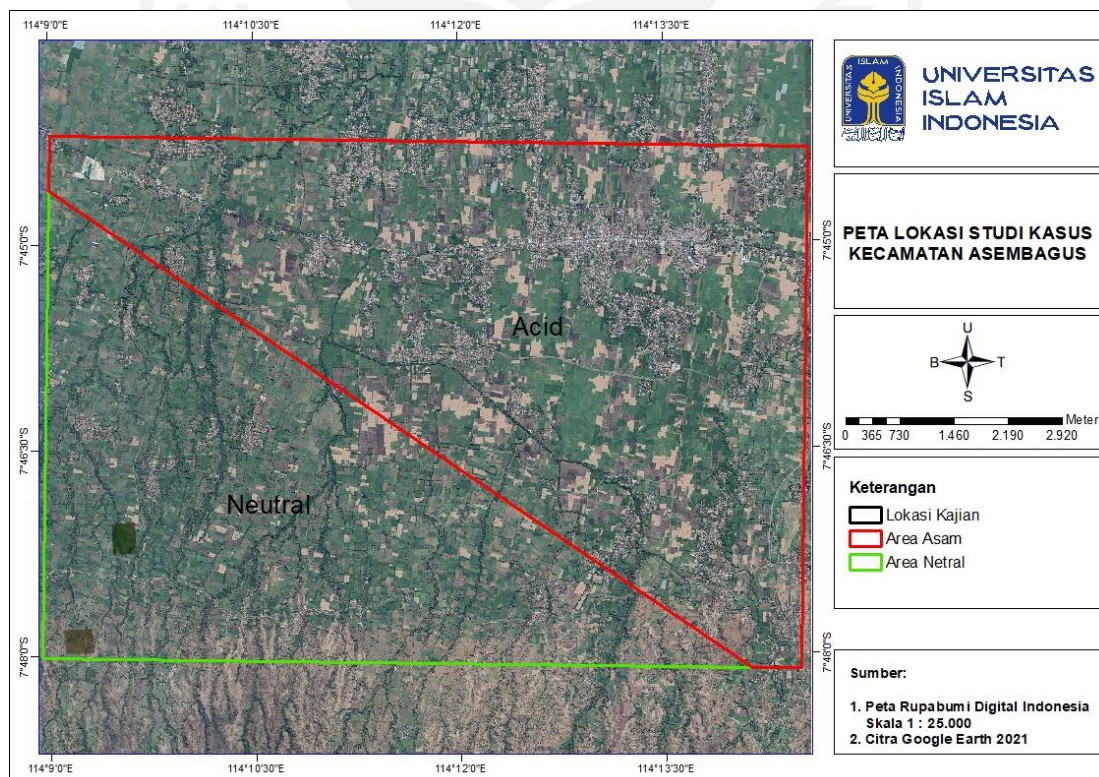
Setelah dilakukan analisis di 3 (tiga) kecamatan terdampak aliran air asam terhadap produktivitas hasil pertanian pada tebu, padi dan jagung, dapat disimpulkan bahwa tebu menjadi komoditas dengan grafik produktivitas yang selalu meningkat di semua area studi kasus terdampak air asam. Hal tersebut bisa saja terjadi karena tebu pada dasarnya merupakan tanaman yang tahan terhadap air yang asam. Sedangkan komoditas padi di Kecamatan Asembagus dan Banyuputih mengalami grafik penurunan produktivitas. Untuk komoditas jagung, hanya Kecamatan Asembagus yang terjadi penurunan grafik produktivitas. Penurunan produktivitas bisa saja terjadi akibat penggunaan air irigasi asam untuk mengairi area pertanian, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi tidak optimal. Grafik penurunan produktivitas tebu dan jagung pada tahun 2013 – 2020 dapat dilihat pada **Gambar 4.13** berikut.



Gambar 4.13. Grafik Produktivitas-Padi di Kecamatan Asembagus dan Banyuputih Tahun 2013-2020 (Sumber: DTPHP Kabupaten Situbondo 2020)

4.2. Lokasi Studi Kasus Area Terdampak Air Asam

Penelitian analisis pengaruh kontaminasi air asam Kawah Ijen terhadap pertanian dilaksanakan di Kecamatan Asembagus, Kabupaten Situbondo, Provinsi Jawa Timur menggunakan metode penginderaan jauh untuk mengetahui korelasi dampak pencemaran air irigasi asam terhadap produktivitas hasil pertanian. Penelitian dilakukan di Kecamatan Asembagus karena area tersebut dialiri oleh air irigasi asam untuk memenuhi kebutuhan pengairan pertanian pada musim kemarau (April-Oktober). Selain itu, berdasarkan data dari Dinas Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan Kabupaten Situbondo, produktivitas hasil pertanian untuk komoditas padi pada tahun 2013 – 2020 mengalami grafik penurunan produktivitas. Hal tersebut yang menjadi latar belakang utama penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Asembagus, yaitu untuk menganalisis korelasi pencemaran air asam terhadap produktivitas pertanian. Peta lokasi studi kasus ditunjukkan pada **Gambar 4.14**.



Gambar 4.14. Peta Lokasi Studi Kasus Kecamatan Asembagus

Tahun 1999 – 2001 merupakan puncak keasaman area pertanian di Kecamatan Asembagus, hasil komoditas padi mengalami penurunan drastis. Hal tersebut diakibatkan oleh air irigasi yang tercemar air asam dari Kawah Ijen. Selain pH yang rendah, air asam juga mengandung unsur-unsur lain seperti Fe, Cd, Al, Pb, Mn, Li, Zn, SO₄, Cl dan lantanida. Lokasi studi kasus dibagi menjadi 2 (dua) area yaitu area netral dan area asam. Pada bulan Agustus-September tahun 2001, van Rotterdam-Los (2008) melakukan analisis salinitas pada lokasi studi kasus dan hasil yang diperoleh adalah pada lapisan bawah tanah netral, nilai salinitasnya 36 – 38 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sedangkan pada lapisan atas tanah netral nilai salinitas berkisar diangka 46 – 69 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kemudian pada lapisan bawah tanah asam terdapat nilai salinitas 52 – 284 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan nilai salinitas lapisan atas tanah asam adalah 523 – 626 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dari sampel tanah yang diteliti oleh van Rotterdam-Los, terdapat bahan induk dengan elemen Zr dan Nb yang dimana kedua elemen tersebut tidak terpengaruh dengan pencucian (*leaching*) pada air irigasi asam. Pada lapisan atas tanah asam, terdapat konsentrasi unsur yang menurun akibat larut dalam proses pencucian seperti Ca, Mg, Fe, Ti (van Rotterdam-Los, 2008).

4.3. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan

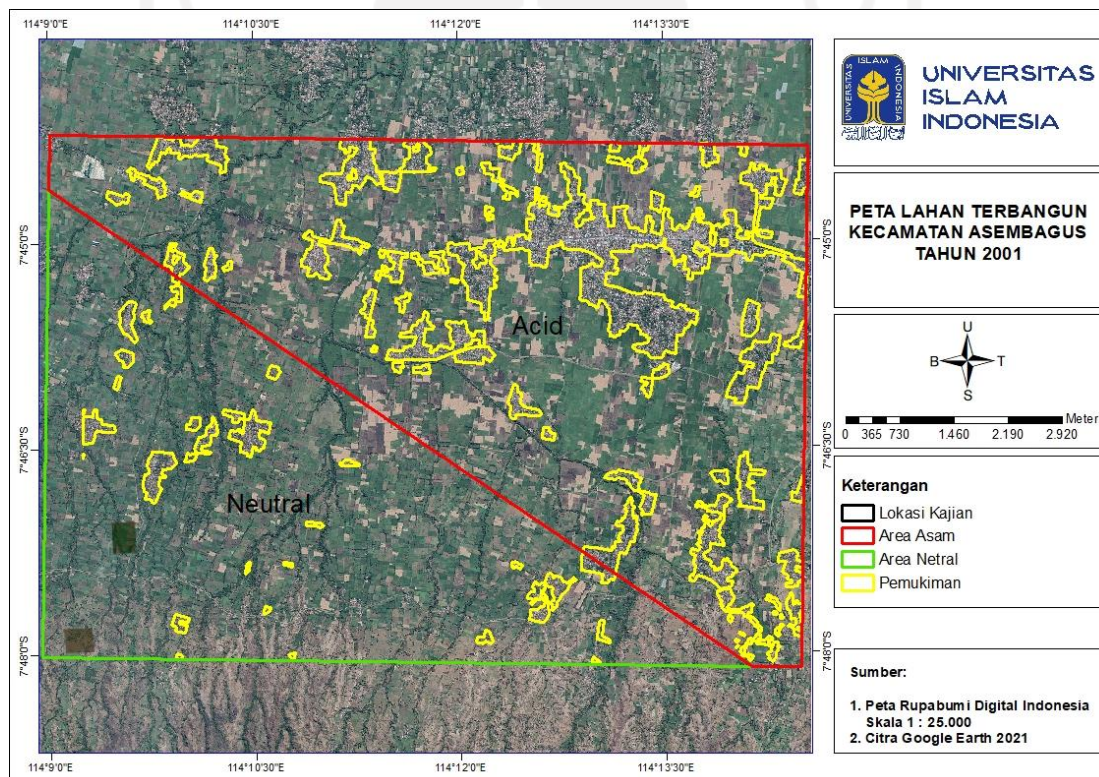
Pada proses pemetaan menggunakan penginderaan jauh perlu dilakukan analisis perubahan penggunaan lahan yang terjadi di lokasi studi kasus. Analisis dilakukan untuk mengetahui perubahan lahan yang terjadi, seperti lahan yang awalnya non-pemukiman berubah menjadi pemukiman. Analisis dilakukan dengan interpretasi manual penggunaan lahan menggunakan data dari Peta Rupabumi Indonesia (RBI) digital skala 1:25.000 dan citra Google Earth perekaman maret 2021-*TerraMetrics Imagery*. Data tersebut sudah sangat cukup untuk melakukan interpretasi manual penggunaan lahan karena akurasi piksel yang sampai satuan cm (centi meter).

Objek yang akan diinterpretasi adalah lahan pertanian (sawah) dan lahan terbangun (pemukiman), objek tersebut dipilih untuk mengetahui perubahan luasan lahan pertanian (sawah) yang berubah menjadi lahan terbangun (pemukiman). Selain untuk mengetahui perubahan penggunaan lahan, interpretasi visual lahan juga

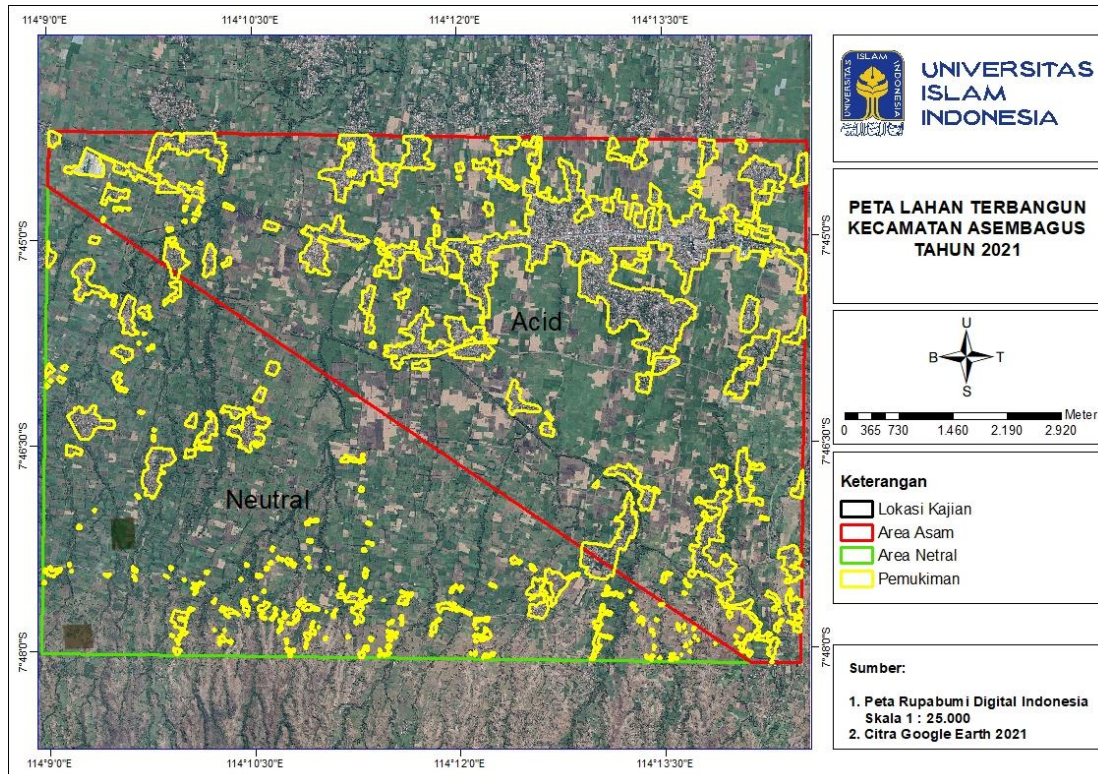
digunakan untuk menganalisis luas lahan pertanian (sawah) yang terdampak aliran air asam. Laju pertumbuhan lahan terbangun di Kecamatan Asembagus dari tahun 2001 – 2021 dapat dilihat pada **Tabel 4.1** serta visual interpretasi tahun 2001 pada **Gambar 4.15** dan visual interpretasi tahun 2021 pada **Gambar 4.16** berikut.

Tabel 4.1. Laju Pertumbuhan Lahan Terbangun

Luas Lahan Pemukiman		
Tahun	Luas (Ha)	Laju Pertambahan Bangunan
2001	828,164	23%
2021	1.020,534	



Gambar 4.15. Peta Lahan Terbangun Tahun 2001

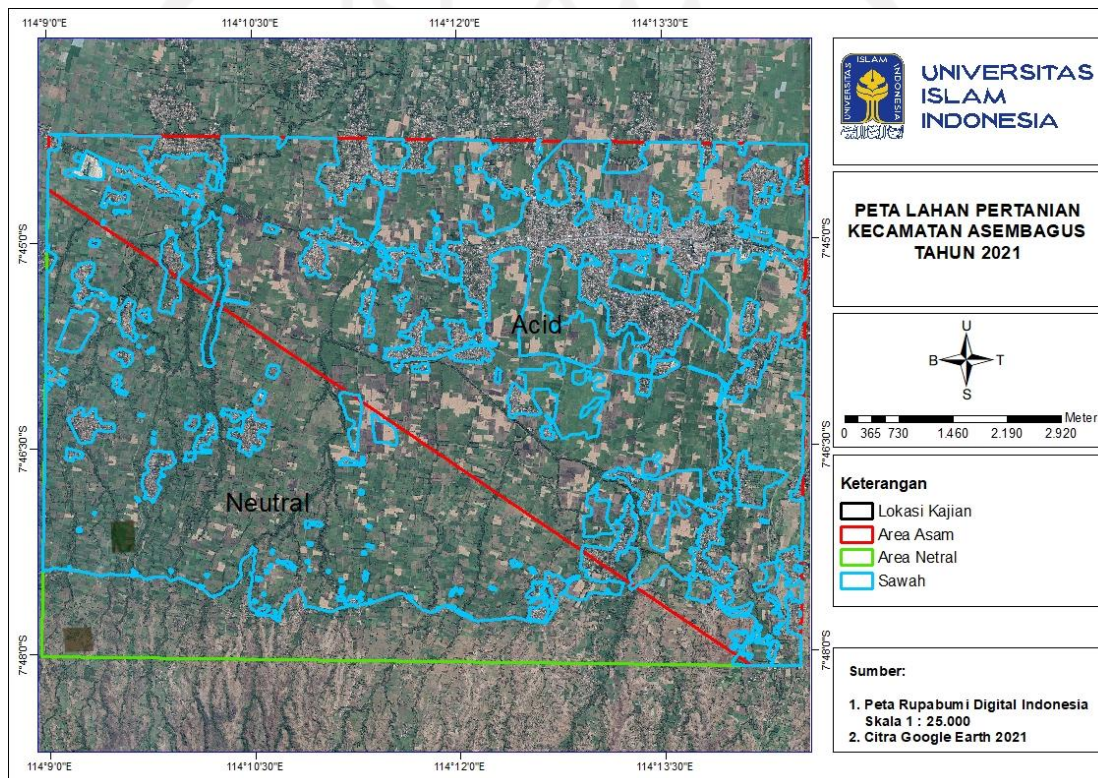


Gambar 4.16. Peta Lahan Terbangun Tahun 2021

Perkembangan pembangunan pemukiman di Kecamatan Asembagus mengalami peningkatan setiap tahunnya berdasarkan hasil analisis interpretasi manual. Pada tahun 2001 lahan terbangun (pemukiman) adalah 828,164 hektar dan pada tahun 2021 sebesar 1.020,534 hektar, sehingga secara persentase laju pertumbuhan bangunan di Kecamatan Asembagus sebesar 23%. Akibat perkembangan pembangunan di Kecamatan Asembagus, luas lahan pertanian (sawah) ikut terkena dampak dan mengalami pengurangan luas lahan. Laju pengurangan luas lahan pertanian pada tahun 2021 dapat dilihat pada **Tabel 4.2** dan interpretasi visual lahan pertanian tahun 2021 ditunjukkan pada **Gambar 4.17**.

Tabel 4.2. Laju Pengurangan Lahan Pertanian

	Tahun	Luas (m ²)	Pengurangan Lahan Pertanian
Luas Sawah Awal	2021	51.009.471,941	5%
Perubahan Lahan	2021	2.390.042,935	
Luas Sawah Akhir	2021	48.619.429,005	



Gambar 4.17. Peta Lahan Pertanian Tahun 2021

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, terjadi pengurangan luas lahan pertanian sebesar 5%. Luas awal sawah sebelum dilakukan interpretasi manual adalah 51.009.471,941 hektar, kemudian terjadi perubahan penggunaan tata lahan sebesar 2.390.042,935 hektar, sehingga luas sawah saat ini di Kecamatan Asembagus adalah 48.619.429,005 hektar. Alih fungsi lahan yang terjadi di daerah Situbondo terutama di Kecamatan Asembagus terjadi akibat perkembangan ekonomi dan peningkatan jumlah penduduk. Sehingga kebutuhan lahan non pertanian untuk keperluan pembangunan perumahan dan industri ikut meningkat (Dewi, 2016).

4.4. Analisis Indeks Salinitas Lokasi Studi Kasus

4.4.1. Pemilihan Temporal Citra Landsat

Penelitian ini awalnya akan dilakukan dengan membandingkan perubahan nilai indeks salinitas tanah secara temporal pada musim kemarau dan musim penghujan selama kurang lebih 3 (tiga) dekade yaitu tahun 2000, 2010 dan 2021 menggunakan citra satelit Landsat-7 ETM⁺ dan Landsat-8 OLI. Namun, ketersediaan citra landsat tidak selalu dalam kondisi optimal karena terdapat beberapa gangguan seperti rekaman citra yang tertutup awan, terjadi *segmented error* saat perekaman dan data citra pada bulan penghujan (November-Maret) tidak layak karena gangguan *atmospheric factors*. Oleh karena itu pemilihan citra yang optimal menjadi penting karena dapat mengurangi kerumitan seperti pada saat proses koreksi *geometric* dan koreksi *radiometric* sebelum dilakukan *band calculation*. Sehingga, analisis salinitas pada penelitian ini hanya menggunakan data citra pada bulan Juli tahun 2000 dan Juli tahun 2021, pemilihan tahun tersebut berdasarkan puncak keasaman pada tahun 1999-2001 dan hasil produksi pertanian terakhir yaitu pada tahun 2020.

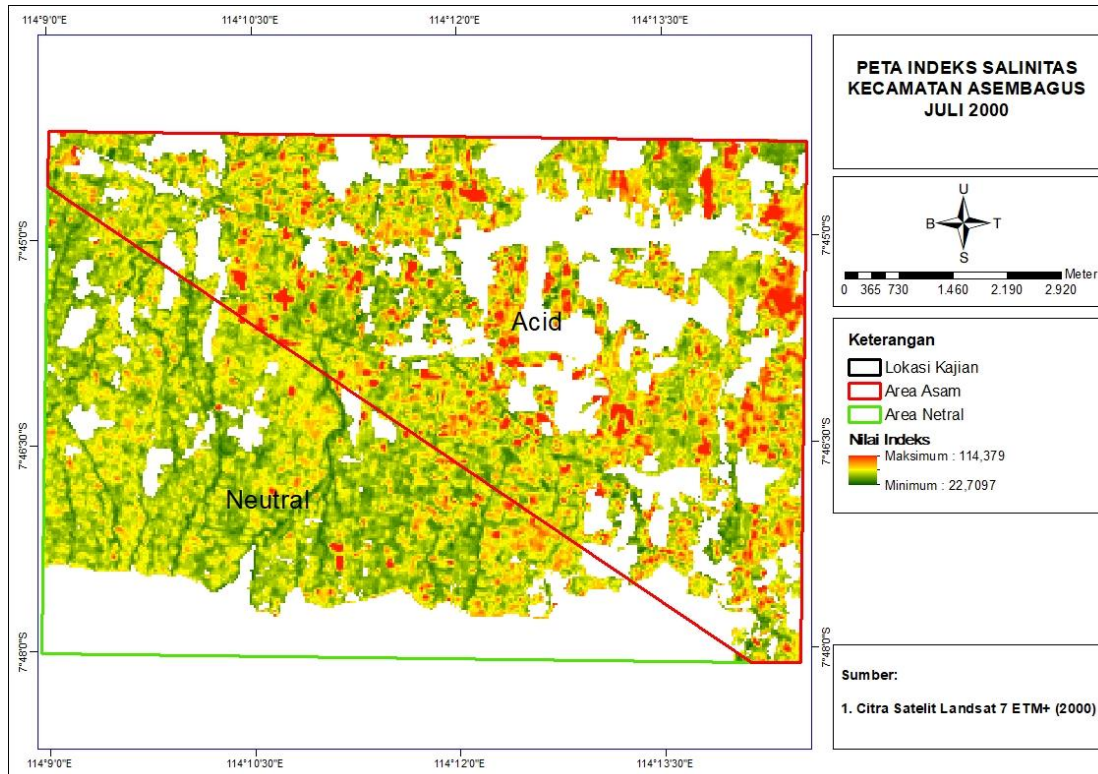
4.4.2. Interpretasi Visual dan Numerik Hasil Perhitungan Indeks

4.4.2.1. Nilai Indeks Salinitas Musim Kemarau Tahun 2000 dan 2021

Hasil perhitungan kanal spektral pada citra satelit Landsat-7 ETM⁺ dan Landsat 8-OLI bulan Juli tahun 2000 dan 2021 menunjukkan nilai indeks salinitas yang secara keseluruhan dapat dilihat pada **Tabel 4.3** dan **Tabel 4.4** beserta peta interpretasi visual pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19**.

Tabel 4.3. Nilai Indeks Salinitas Keseluruhan Tahun 2000

Indeks Salinitas Tahun 2000	
Keterangan	Nilai Indeks
Minimum	22,71
Maksimum	114,38
Rata-rata	44,45
Standar Deviasi	10,59

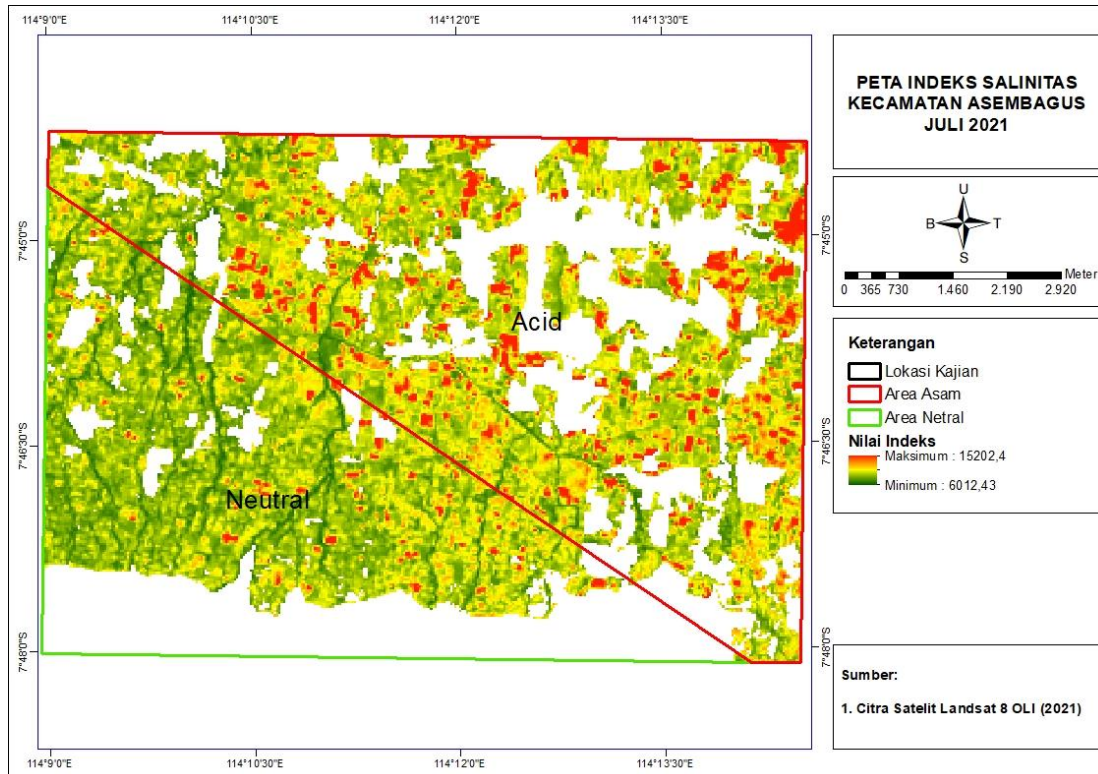


Gambar 4.18. Peta Indeks Salinitas Musim Kemarau Tahun 2000

Berdasarkan hasil pemetaan tahun 2000, nilai indeks salinitas pada **Tabel 4.3** menunjukkan nilai maksimum berada pada angka 114,38, sedangkan nilai minimum sebesar 22,71, kemudian nilai rata-rata sebesar 44,45 dan standar deviasinya adalah 10,59. Pada **Gambar 4.18** menampilkan banyak piksel simbol berwarna merah di area asam, hal tersebut menandakan bahwa pada area asam terdapat nilai salinitas yang tinggi dengan cakupan pencemaran yang luas.

Tabel 4.4. Nilai Indeks Salinitas Keseluruhan Tahun 2021

Indeks Salinitas Tahun 2021	
Keterangan	Nilai Indeks
Minimum	6.012,43
Maksimum	15.202,42
Rata-rata	7.864,89
Standar Deviasi	996,52



Gambar 4.19. Peta Indeks Salinitas Musim Kemarau Tahun 2021

Hasil dari pemetaan indeks salinitas tahun 2021 yang dapat dilihat pada **Tabel 4.4** menunjukkan nilai salinitas maksimum sebesar 15.202,42, kemudian nilai minimumnya sebesar 6.012,43, dengan nilai rata-rata 7.864,89 dan standar deviasi 996,52. Pada **Gambar 4.19** juga menampilkan banyak piksel berwarna merah di area asam. Hasil pemetaan pada tahun 2021 menampilkan hasil yang sama dengan hasil pemetaan pada tahun 2000. Hasilnya adalah area asam memiliki nilai salinitas yang tinggi dengan cakupan pencemaran yang luas.

Setelah melakukan interpretasi visual indeks salinitas tanah menggunakan citra satelit landsat pada tahun 2000 maupun 2021, pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19** diperoleh hasil bahwa pada musim kemarau (Bulan Juli), area asam memiliki lebih banyak piksel berwarna merah dibandingkan area netral, hal ini dapat diartikan jika area asam memiliki indeks nilai salinitas yang

tinggi dengan cakupan yang luas. Hasil tersebut sesuai dengan pemetaan dari penelitian van Rotterdam-Los (2008), dimana terdapat banyak indeks salinitas dengan konsentrasi tinggi pada area asam di Kecamatan Asembagus. Kemudian van Rotterdam-Los menjelaskan bahwa tingginya indeks salinitas pada area asam disebabkan oleh jaringan irigasi yang sumber airnya berasal dari Sungai Banyuputih yang telah tercemar air asam. Penggunaan Sungai Banyuputih sebagai sumber irigasi hanya dilakukan pada musim kemarau dan hal tersebut menyebabkan terjadinya penurunan pH dan peningkatan salinitas.

Kemudian dapat dilihat pada **Tabel 4.3** dan **Tabel 4.4** terjadi peningkatan nilai indeks salinitas pada periode tahun 2000 hingga 2021. Selain karena perbedaan sensor perekaman pada citra Landsat-7 ETM⁺ dengan Landsat 8-OLI, peningkatan nilai salinitas juga dapat terjadi karena faktor alam. Menurut Rachman et al., (2018) salinitas yang meningkat pada tanah secara umum terjadi akibat tingginya jumlah air mengandung garam yang masuk ke dalam tanah, kemudian dapat disebabkan oleh adanya proses penguapan yang tinggi namun tidak dibarengi dengan curah hujan yang sepadan, dan penyebab lainnya adalah terdapat deposit garam pada bahan induk tanah.

4.4.2.2. Metode-Metode Klasifikasi Indeks Salinitas

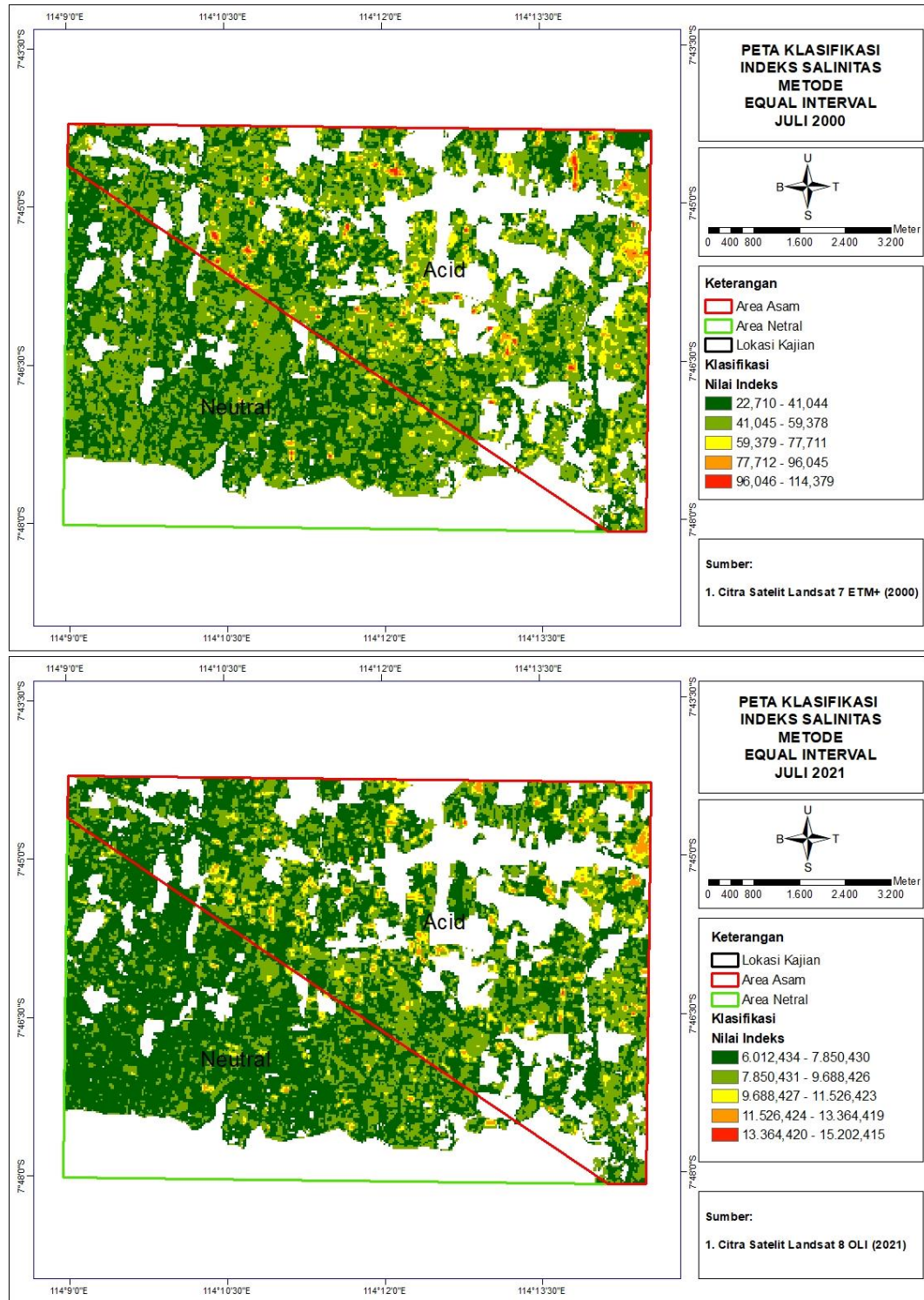
Pada interpretasi visual indeks salinitas terdapat beberapa metode yang berfungsi untuk mengetahui macam-macam nilai indeks salinitas berdasarkan karakteristik masing-masing metode seperti *Defined Interval*, *Equal Interval*, *Geometrical Interval*, *Natural Breaks*, *Quantile* dan *Standard Deviation*. Pada setiap metode terdapat simbol warna yang menunjukkan status indeks salinitas. Simbol berwarna hijau tua berarti nilai indeks salinitas paling rendah, warna hijau muda berarti rendah, warna kuning berarti menengah, warna oranye berarti tinggi dan simbol warna merah menunjukkan indeks salinitas paling tinggi. Setiap metode klasifikasi memiliki karakteristik masing-masing. Peta setiap metode klasifikasi tahun 2000 dan 2021 dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



Gambar 4.20. Peta Klasifikasi Metode *Defined Interval* Tahun 2000 & 2021

Jika dilihat pada **Gambar 4.20** metode yang digunakan adalah *Defined Interval*. Pada peta *Defined Interval* tahun 2000 menunjukkan pada area asam memiliki banyak piksel berwarna kuning dan hijau muda serta beberapa piksel warna merah. Sedangkan pada area netral mayoritas piksel didominasi warna hijau muda dengan beberapa piksel warna kuning dan sedikit piksel warna merah. Kemudian pada peta *Defined Interval* tahun 2021 menunjukkan pada area asam memiliki banyak piksel berwarna hijau muda serta beberapa piksel warna oranye dan sedikit piksel berwarna merah. Sedangkan pada area netral juga diisi dengan warna piksel hijau muda serta beberapa piksel warna oranye dan sedikit piksel berwarna merah. Secara visual, semua hasil dari metode *Defined Interval* tersebut menunjukkan bahwa piksel indeks salinitas warna merah pada area asam lebih banyak dibanding area netral.

Defined Interval merupakan metode klasifikasi yang dapat mengatur ukuran nilai interval yang akan digunakan, sehingga menghasilkan serangkaian kelas klasifikasi dengan rentang nilai interval yang sudah ditentukan (Crisana, 2014). Berdasarkan **Gambar 4.20**, interval nilai atribut yang digunakan peta klasifikasi pada tahun 2000 sebesar 22,876. Kemudian pada peta tahun 2021 menggunakan nilai interval sebesar 3.040,483. Kelas klasifikasi yang akan digunakan pada metode ini bisa disesuaikan dengan kebutuhan peta yang ingin dibuat.



Gambar 4.21. Peta Klasifikasi Metode *Equal Interval* Tahun 2000 & 2021

Peta pada **Gambar 4.21** menggunakan metode *Equal Interval* yang menunjukkan pada tahun 2000 area asam memiliki banyak piksel berwarna hijau tua dan hijau muda, serta beberapa piksel berwarna kuning dan merah dengan sedikit piksel berwarna oranye. Sedangkan pada area netral mayoritas piksel banyak diisi warna hijau tua dan hijau muda dengan sedikit piksel berwarna kuning, oranye dan merah. Kemudian pada peta tahun 2021 area asam memiliki banyak piksel berwarna hijau tua dan hijau muda, serta beberapa piksel berwarna kuning dengan sedikit piksel berwarna merah. Sedangkan pada area netral, mayoritas piksel juga banyak diisi warna hijau tua diikuti piksel berwarna hijau muda, kemudian hanya terdapat sedikit piksel berwarna kuning dan merah. Hasil keseluruhan dari metode *Equal Interval* menunjukkan bahwa indeks salinitas yang tinggi pada area asam lebih banyak dibanding area netral, walaupun luas piksel berwarna merah pada area asam tidak terlalu banyak.

Equal Interval merupakan metode klasifikasi yang membagi nilai atribut kedalam kelas klasifikasi dengan rentang interval yang teratur. Metode ini paling baik digunakan untuk melakukan analisis data dalam bentuk persentase dan suhu (Osaragi, 2008). Jika dilihat berdasarkan **Gambar 4.21**, *Equal Interval* tidak terlalu menonjolkan piksel berwarna merah karena metode ini membagi nilai indeks salinitas yang memiliki nilai atribut bervariasi kedalam kelas klasifikasi dengan rentang nilai yang sama, sehingga piksel berwarna merah sedikit karena tidak memenuhi nilai minimum yang dibutuhkan untuk masuk ke kelas klasifikasi merah.



Gambar 4.22. Peta Klasifikasi Metode *Geometrical Interval* Tahun 2000 & 2021

Peta pada **Gambar 4.22** menggunakan metode *Geometrical Interval*. Metode klasifikasi tahun 2000 area asam yang terdapat banyak piksel berwarna kuning, oranye dan merah serta beberapa piksel berwarna hijau tua dan hijau muda. Sedangkan pada area netral, banyak diisi dengan piksel berwarna kuning, hijau tua dan hijau muda dengan sedikit piksel berwarna oranye dan merah. Selanjutnya, metode klasifikasi tahun 2021 pada area asam didominasi piksel berwarna kuning dengan beberapa piksel berwarna hijau tua dan merah, serta terdapat sedikit piksel berwarna hijau muda dan oranye. Sedangkan pada area netral, banyak diisi dengan piksel berwarna hijau tua, kuning dan hijau muda, kemudian juga terdapat beberapa piksel berwarna oranye dan merah. Hasil dari metode *Geometrical Interval* menunjukkan bahwa indeks salinitas tinggi pada area asam lebih banyak dibanding area netral, karena banyaknya jumlah piksel berwarna merah pada area asam.

Metode *Geometrical Interval* menciptakan kelas klasifikasi berdasarkan interval nilai atribut yang memiliki deret geometrik. Cara kerja dari metode ini adalah dengan meminimalisir jumlah kuadrat pada setiap nilai atribut dan baik digunakan pada data yang kontinu. Kemudian interval antar kelas klasifikasi pada metode *Geometrical Interval* cukup konsisten (Crisana, 2014), sehingga menghasilkan interpretasi visual yang menarik seperti pada **Gambar 4.22**. Hasil dari interpretasi visual pada metode ini cukup sesuai dengan hasil interpretasi pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19**.



Gambar 4.23. Peta Klasifikasi Metode *Natural Breaks* Tahun 2000 & 2021

Gambar 4.23 menggunakan metode *Natural Breaks* yang menunjukkan peta pada area asam tahun 2000 memiliki banyak piksel berwarna kuning, oranye dan merah serta beberapa piksel berwarna hijau tua dan hijau muda. Sedangkan pada area netral tahun 2000, banyak diisi dengan piksel berwarna hijau tua dan hijau muda, dengan beberapa piksel berwarna kuning serta sedikit piksel berwarna oranye dan merah. Kemudian pada peta tahun 2021 menunjukkan area asam yang memiliki banyak piksel berwarna kuning, merah dan hijau tua serta beberapa piksel berwarna hijau tua dan oranye. Sedangkan pada area netral, banyak diisi dengan piksel berwarna hijau tua dan hijau muda, serta terdapat beberapa piksel berwarna kuning dengan sedikit piksel berwarna oranye dan merah. Indeks salinitas yang tinggi pada metode *Natural Breaks* terdapat pada area asam karena diisi dengan jumlah piksel berwarna merah yang cukup banyak.

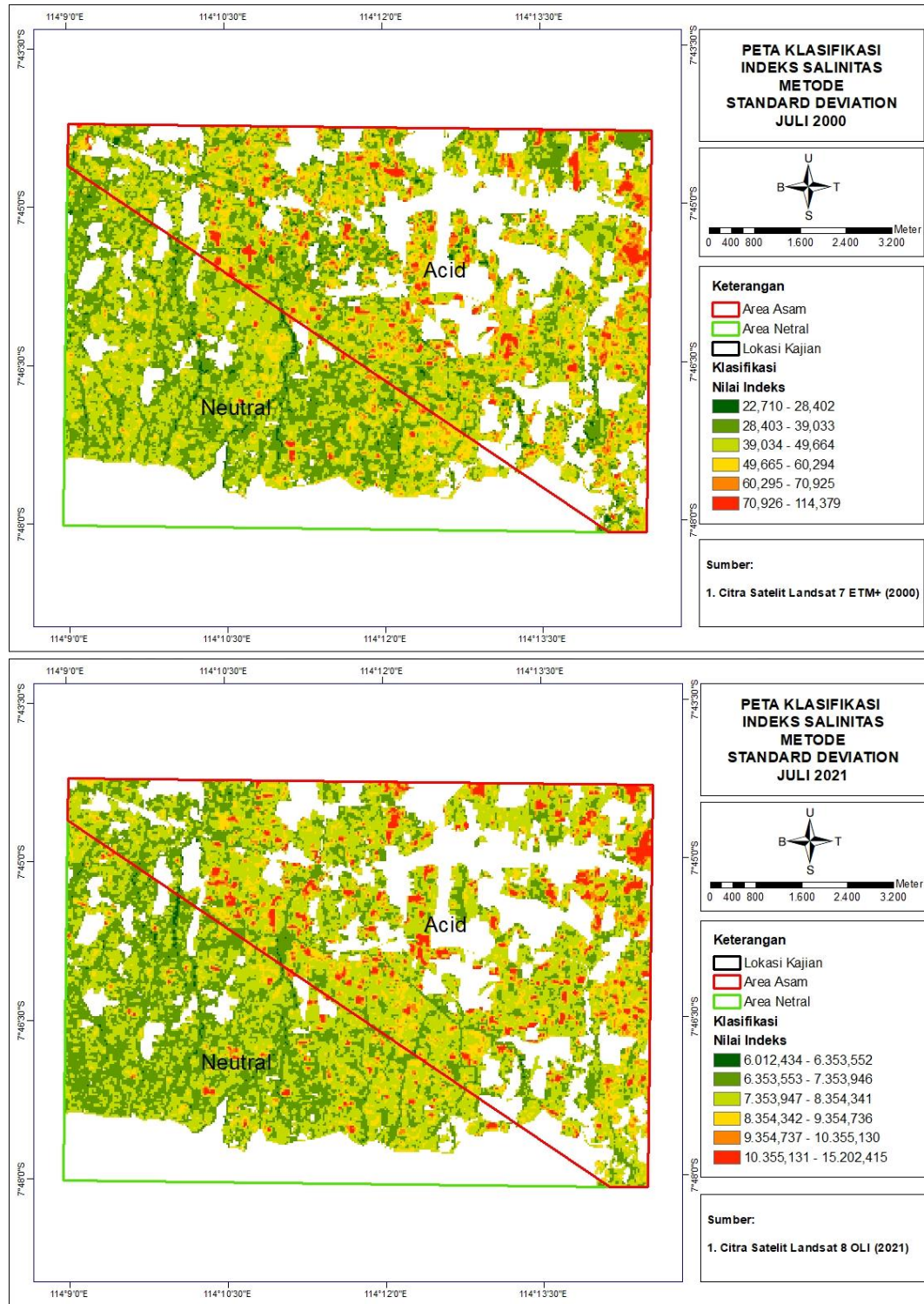
Metode *Natural Breaks* adalah metode yang mengidentifikasi kelas klasifikasi berdasarkan nilai atribut yang sesuai dengan pengelompokan alami pada data. Cara kerja dalam penentuan kelas klasifikasi *Natural Breaks* dilakukan berdasarkan perbandingan statistik yang memiliki perbedaan interval besar pada setiap nilai atribut (Osaragi, 2008). Metode ini menjadi metode yang paling sesuai untuk menunjukkan interpretasi visual indeks salinitas karena peta yang dihasilkan pada **Gambar 4.23** mendekati dari hasil asli interpretasi visual pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19**.



Gambar 4.24. Peta Klasifikasi Metode *Quantile* Tahun 2000 & 2021

Dapat dilihat pada **Gambar 4.24** menggunakan metode *Quantile*, peta klasifikasi tahun 2000 menampilkan area asam memiliki piksel yang didominasi warna merah, dengan beberapa piksel berwarna hijau tua, hijau muda, kuning, serta sedikit piksel berwarna oranye. Pada area netral juga terdapat banyak piksel berwarna merah diikuti dengan piksel warna hijau tua dan beberapa piksel berwarna hijau muda, kuning serta oranye. Peta klasifikasi tahun 2021 juga didominasi warna merah, dengan beberapa piksel berwarna hijau tua, hijau muda, kuning, serta sedikit piksel berwarna oranye. Pada area netral juga terdapat banyak piksel berwarna merah diikuti dengan piksel warna hijau tua dan beberapa piksel berwarna hijau muda, kuning serta oranye. Secara visual, hasil dari metode *Quantile* terdapat banyak piksel berwarna merah pada kedua area, akan tetapi piksel berwarna merah pada area asam sangat mendominasi dibanding warna piksel lainnya dan luas piksel merah pada area asam sangat mendominasi dibanding piksel merah pada area netral.

Berdasarkan karakteristiknya, *Quantile* merupakan metode yang membagi sama rata setiap nilai atribut kelas. Metode ini tidak cocok digunakan untuk interpretasi visual indeks salinitas, karena terkadang data nilai atribut yang rendah maupun sedang dimasukkan kedalam klasifikasi dengan nilai atribut yang tinggi (Osaragi, 2008). Sehingga jika dilihat pada **Gambar 4.24**, terdapat banyak sekali piksel berwarna merah karena nilai atribut sedang dimasukkan kedalam kelas klasifikasi dengan nilai atribut tinggi.



Gambar 4.25. Peta Klasifikasi Metode *Standard Deviation* Tahun 2000 & 2021

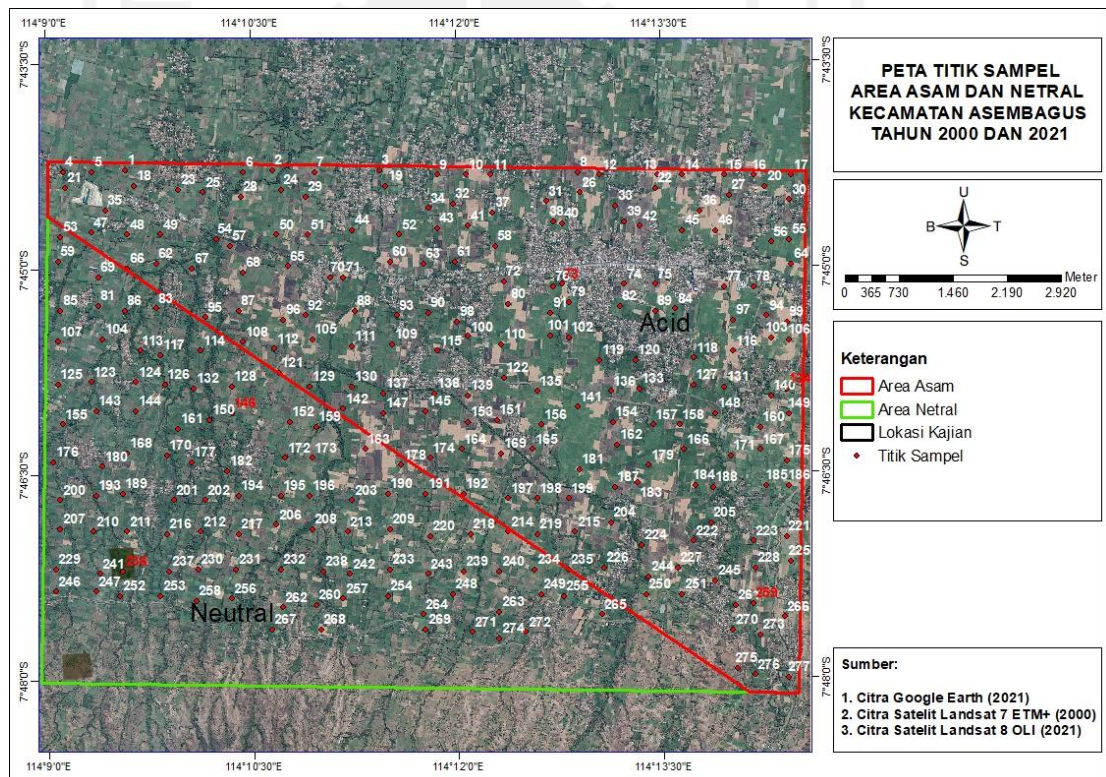
Dan yang terakhir pada **Gambar 4.25** metode klasifikasi yang digunakan adalah *Standard Deviation*, pada metode tahun 2000 menunjukkan hasil pada area asam memiliki piksel yang didominasi warna hijau muda, dengan beberapa piksel berwarna merah, oranye dan hijau tua. Pada area netral juga terdapat banyak piksel berwarna hijau muda diikuti dengan piksel warna hijau tua serta beberapa piksel berwarna oranye dan merah. Setelah itu, pada metode klasifikasi tahun 2021, dapat dilihat pada area asam memiliki piksel yang didominasi warna hijau muda, dengan beberapa piksel berwarna merah, oranye dan hijau tua. Sedangkan pada area netral juga terdapat banyak piksel berwarna hijau muda diikuti dengan piksel warna hijau tua serta beberapa piksel berwarna oranye dan merah. Hasil dari metode *Standard Deviation* menunjukkan bahwa area asam masih lebih banyak diisi dengan piksel warna merah dibandingkan dengan area netral. Interpretasi tersebut menandakan bahwa area asam mengalami indeks salinitas tinggi.

Metode *Standard Deviation* berfungsi untuk mengklasifikasikan interval atribut kelas berdasarkan nilai rata-rata dan standar deviasi. Metode ini paling baik digunakan pada data yang memiliki nilai distribusi normal (Osaragi, 2008). Jika digunakan untuk interpretasi visual indeks salinitas pada penelitian ini, hasil dari metode *Standard Deviation* pada **Gambar 4.25** tidak terlalu optimal karena indeks salinitas memiliki nilai atribut yang bervariasi dan tidak bisa di klasifikasikan berdasarkan nilai rata-rata.

Dapat disimpulkan bahwa dari semua metode klasifikasi yang digunakan untuk interpretasi visual pada musim kemarau tahun 2000 dan 2021, masing-masing metode tetap menunjukkan jika pada area asam selalu diisi dengan piksel berwarna merah dalam jumlah cukup banyak yang berarti area tersebut memiliki indeks salinitas yang tinggi. Berbagai macam metode klasifikasi yang ditampilkan berfungsi untuk menampilkan perspektif lain dari hasil visual indeks salinitas berdasarkan karakteristik masing-masing metode.

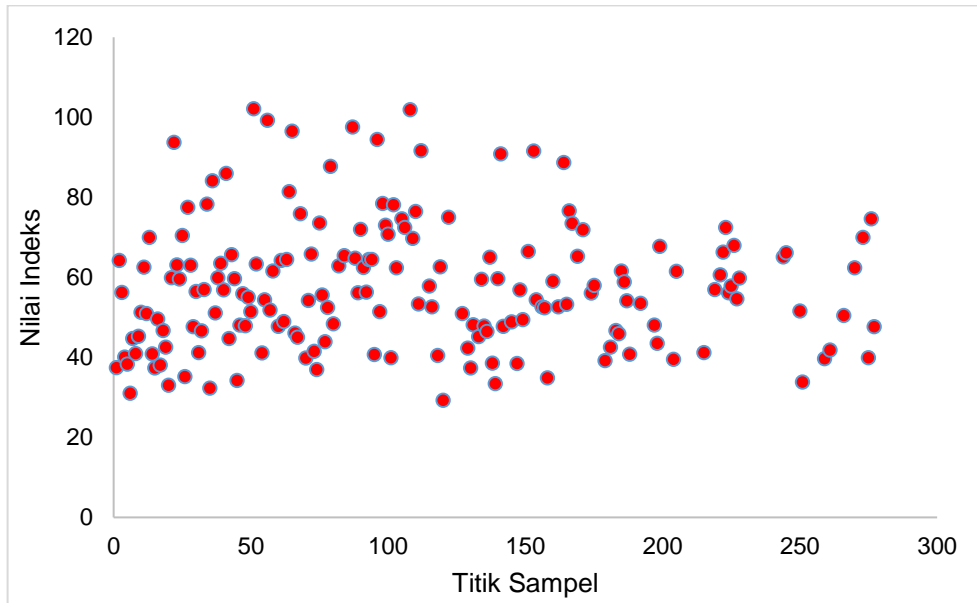
4.4.2.3. Perbandingan Nilai Indeks Salinitas Area Asam dan Area Netral

Selain melakukan perhitungan interpretasi visual indeks salinitas secara keseluruhan, pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan interpretasi visual indeks salinitas pada setiap rasio 500 meter pada peta area lokasi studi kasus. Perhitungan tersebut dilakukan untuk mengetahui nilai indeks salinitas pada area asam maupun area netral dalam skala kecil, serta berfungsi untuk mengetahui nilai indeks salinitas dengan lebih mendetail. Titik sampling yang digunakan untuk melakukan perbandingan nilai indeks salinitas pada area asam dengan area netral dapat dilihat pada **Gambar 4.26** berikut.

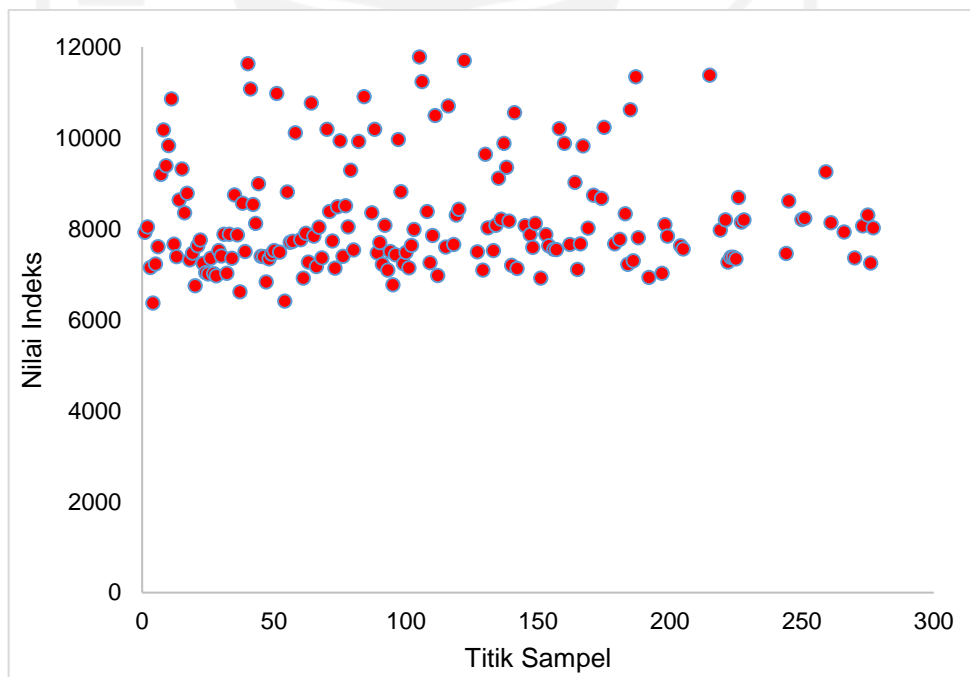


Gambar 4.26. Peta Titik Sampel Area Asam dan Netral Tahun 2000 dan 2021

Kemudian, untuk hasil perbandingan nilai indeks salinitas pada area asam dan area netral tahun 2000 dan 2021 dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.27. Nilai per Sampel Indeks Salinitas Area Asam Tahun 2000



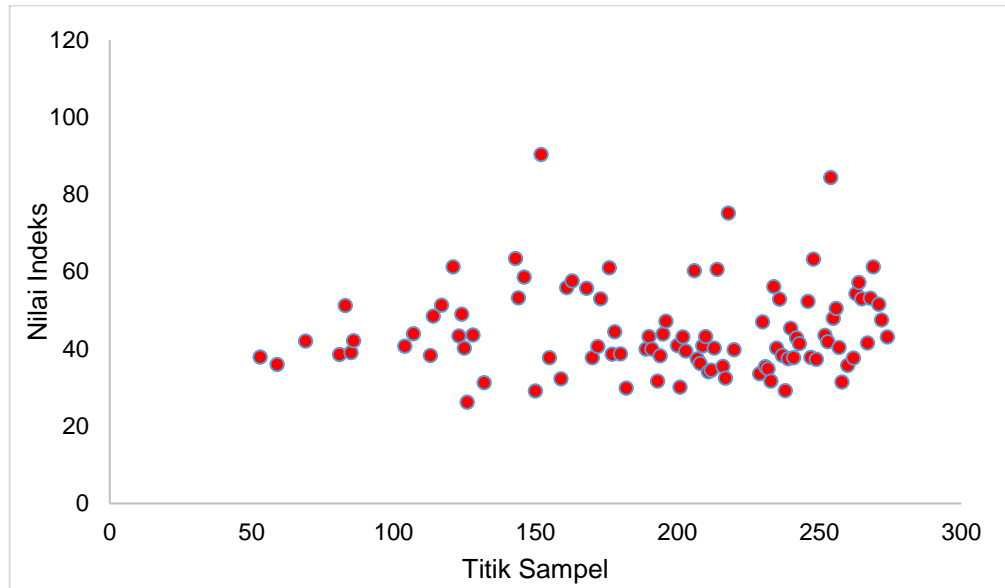
Gambar 4.28. Nilai per Sampel Indeks Salinitas Area Asam Tahun 2021

Pada **Gambar 4.27** dan **Gambar 4.28** menunjukkan nilai indeks setiap titik sampel tahun 2000 dan 2021 pada area asam, dengan total titik sampel di area asam berjumlah 179. Pada tahun 2000 titik sampel nomor 51 memiliki nilai indeks maksimum sebesar 102,15 sedangkan untuk nilai minimum berada pada titik sampel nomor 120 dengan nilai indeks 29,28 dan nilai indeks rata-rata pada area asam tahun 2000 adalah 57,43. Kemudian pada sampel 2021 nilai indeks maksimum terdapat pada titik 105 sebesar 11.782,80, kemudian nilai minimum berada pada titik 4 dengan nilai indeks 6.370,54 dan rata-rata nilai indeks sebesar 8.222,11. Nilai indeks beserta titik sampling pada area asam pada tahun 2000 dan 2021 dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

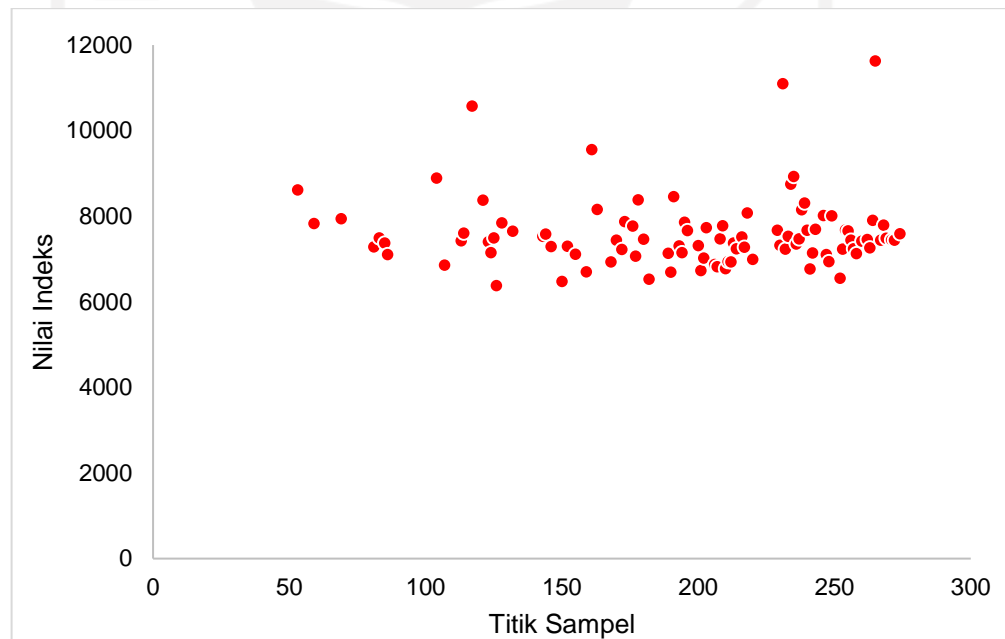
Berdasarkan pengelompokan yang telah dilakukan, rentang nilai indeks salinitas area asam tahun 2000 paling banyak berada pada rentang 41-60 dengan jumlah sampel sebanyak 88. Sedangkan pada nilai indeks salinitas area asam tahun 2021 paling banyak berada di rentang nilai 6.001-8.000 dengan sampel berjumlah 99. Pengelompokan seluruh indeks salinitas berdasarkan rentang nilai pada area asam dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5. Rentang Nilai Indeks Salinitas Area Asam Tahun 2000 & 2021

Area Asam 2000		Area Asam 2021	
Rentang Nilai	Jumlah	Rentang Nilai	Jumlah
0-20	0	0-2.000	0
21-40	23	2.001-4.000	0
41-60	88	4.001-6.000	0
61-80	53	6.001-8.000	99
81-100	13	8.001-10.000	59
101-120	2	10.001-12.000	21



Gambar 4.29. Nilai per Sampel Indeks Salinitas Area Netral Tahun 2000



Gambar 4.30. Nilai per Sampel Indeks Salinitas Area Netral Tahun 2021

Pada **Gambar 4.29** dan **Gambar 4.30** menunjukkan nilai indeks setiap titik sampel tahun 2000 dan 2021 pada area netral, dengan total titik sampel di

area netral berjumlah 98. Pada tahun 2000 titik sampel nomor 126 memiliki nilai indeks minimum sebesar 26,20 sedangkan untuk nilai maksimum berada pada titik sampel nomor 152 dengan nilai indeks 90,37. Nilai indeks rata-rata pada area netral tahun 2000 adalah 44,50. Kemudian pada sampel 2021 nilai indeks maksimum terdapat pada titik 265 sebesar 11.627,40, kemudian nilai minimum berada pada titik 126 dengan nilai indeks 6.377,94 dan memiliki nilai indeks rata-rata sebesar 7.590,49. Nilai indeks beserta titik sampling pada area netral tahun 2000 dan 2021 dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

Pada indeks salinitas area netral tahun 2000 paling banyak berada di rentang nilai 40-60 dengan jumlah sampel sebanyak 48. Kemudian nilai indeks salinitas area asam tahun 2021 paling banyak berada di rentang nilai 6.000-8.000 dengan sampel berjumlah 81. Pengelompokkan indeks salinitas berdasarkan rentang nilai pada area netral dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6. Rentang Nilai Indeks Salinitas Area Netral Tahun 2000 & 2021

Area Netral 2000		Area Netral 2021	
Rentang Nilai	Jumlah	Rentang Nilai	Jumlah
0-20	0	0-2.000	0
21-40	40	2.001-4.000	0
41-60	48	4.001-6.000	0
61-80	8	6.001-8.000	81
81-100	2	8.001-10.000	14
101-120	0	10.001-12.000	3

Menurut penelitian pada Landsat 7 ETM⁺ oleh Bannari et al. (2020) menunjukkan bahwa ambang batas salinitas dengan konsentrasi rendah sebesar 11-25, kemudian salinitas dengan sedang berkisar antara 26-51, sedangkan pada salinitas dengan konsentrasi tinggi memiliki rentang 52-102, dan salinitas dengan konsentrasi sangat tinggi memiliki rentang 103-152. Selain itu, Ansari et al. (2019) juga melakukan penelitian indeks salinitas menggunakan Landsat 8 OLI, dan pada hasil penelitian tersebut menunjukkan nilai indeks salinitas minimum

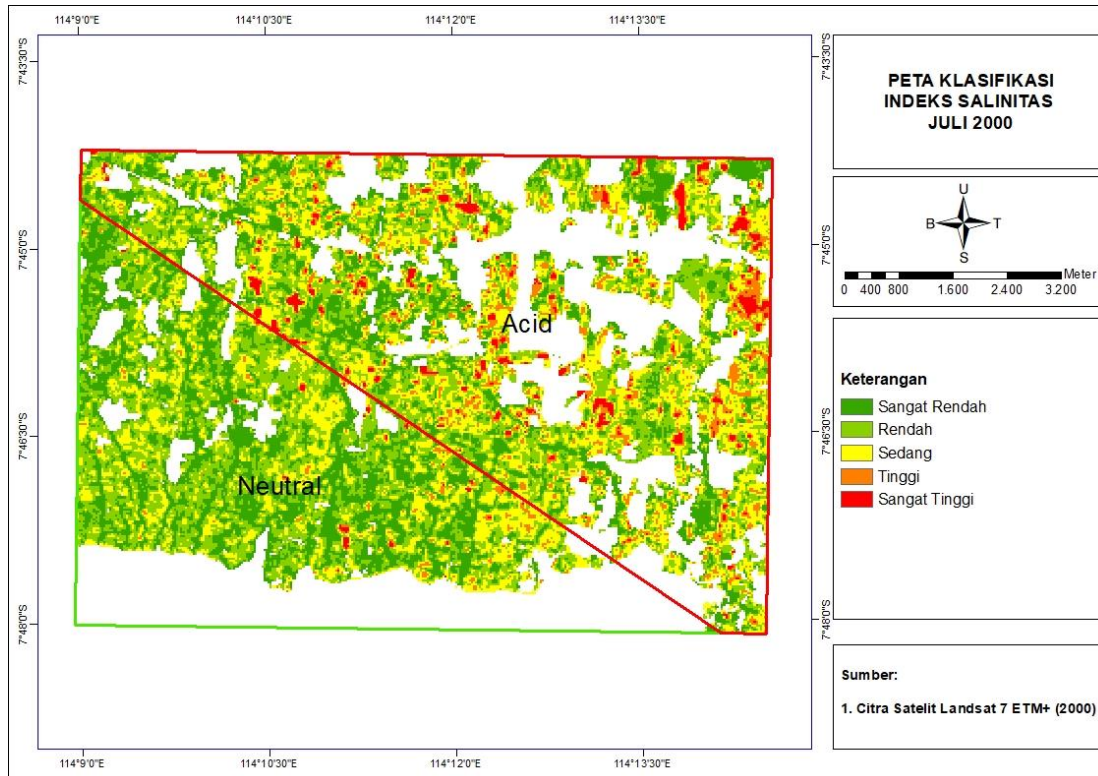
sebesar 2.370 dan nilai maksimumnya adalah 4.670. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa ambang batas indeks salinitas area asam dan netral pada tahun 2000 yang menggunakan data Landsat 7 ETM⁺ banyak berada pada konsentrasi sedang-tinggi. Sedangkan indeks salinitas pada area asam dan netral tahun 2021 yang menggunakan data Landsat 8 OLI menunjukkan indeks salinitas dengan konsentrasi tinggi.

Nilai indeks pada area asam maupun netral mengalami peningkatan jika dilihat berdasar angka rata-rata dari tahun 2000 sampai 2021. Namun, hasil dari perhitungan nilai indeks salinitas dengan metode penginderaan jauh menggunakan citra Satelit Landsat belum dikatakan sempurna karena nilai indeks tersebut tidak memiliki satuan nilai dan belum terdapat pedoman standar acuan nilai yang bisa dibandingkan untuk melakukan analisis hasil indeks tersebut, sehingga perlu dilakukan validasi menggunakan data lapangan agar dapat dilakukan analisis salinitas sesuai dengan pedoman yang berlaku.

4.4.3. Luas Area Salinitas

Perhitungan luas area salinitas berfungsi untuk mengetahui seberapa luas pencemaran yang terjadi. Untuk mencari luas salinitas pada penelitian ini, dilakukan dengan menghitung luas piksel pada peta nilai indeks salinitas tahun 2000 dan 2021. Peta nilai indeks tersebut merupakan data raster karena data yang digunakan berasal dari citra Satelit Landsat. Data raster memiliki bentuk piksel (*picture element*) yang merepresentasikan obyek-obyek geografis permukaan bumi. Piksel (*picture element*) tersebut berbentuk seperti kotak-kotak bujur sangkar (*grid*) (Sitorus, 2014).

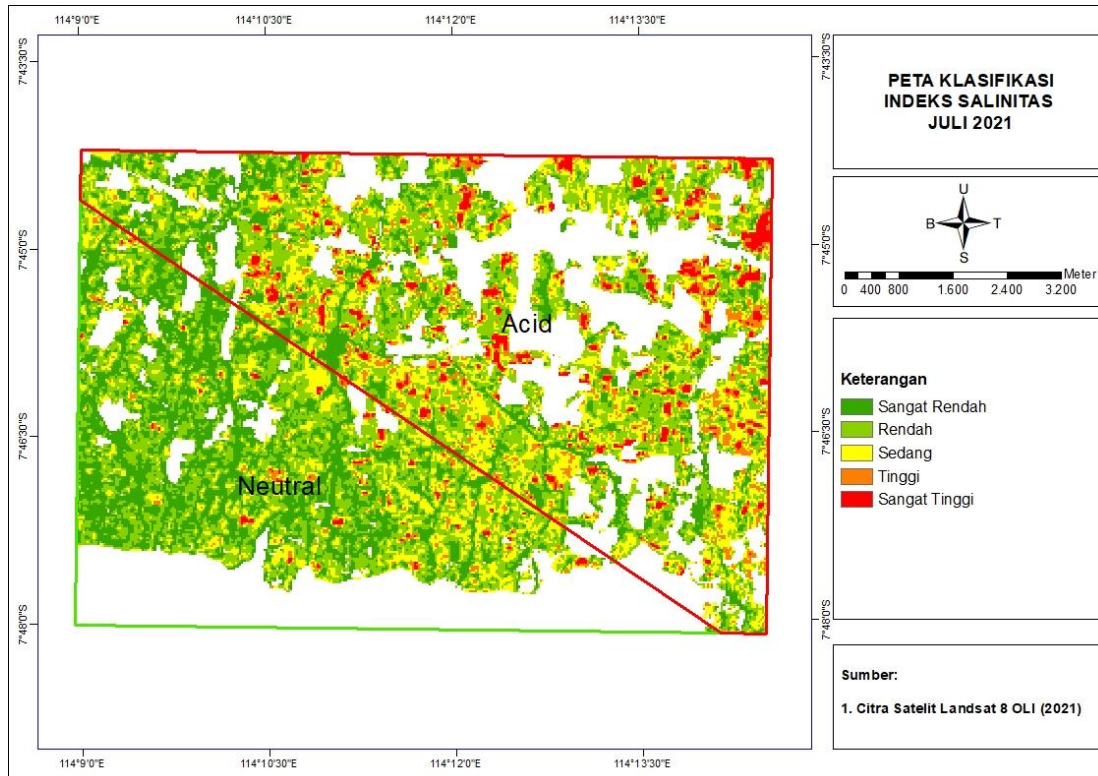
Tahap awal yang perlu dilakukan untuk menghitung luas salinitas adalah dengan mengklasifikasikan area salinitas menjadi 5 kelas. Warna hijau tua berarti sangat rendah, hijau muda berarti rendah, kuning berarti sedang, oranye berarti tinggi dan merah berarti sangat tinggi. Adapun peta kelas klasifikasi dan luas area salinitas dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut.



Gambar 4.31. Peta Klasifikasi Indeks Salinitas Tahun 2000

Tabel 4.7. Luas Area Indeks Salinitas Tahun 2000

Kelas Klasifikasi	Jumlah Piksel	Luas Piksel (m ²)	Persentase Luas
Sangat Rendah	14.922	13.419.205	28%
Rendah	19.932	17.924.648	37%
Sedang	14.627	13.153.915	27%
Tinggi	3.369	3.029.708	6%
Sangat Tinggi	1.214	1.091.738	2%
Total		48.619.215	100%



Gambar 4.32. Peta Klasifikasi Indeks Salinitas Tahun 2021

Tabel 4.8. Luas Area Indeks Salinitas Tahun 2021

Kelas Klasifikasi	Jumlah Pikel	Luas Pikel (m ²)	Persentase Luas
Sangat Rendah	15.126	13.602.661	28%
Rendah	21.049	18.929.155	39%
Sedang	12.071	10.855.330	22%
Tinggi	3.797	3.414.604	7%
Sangat Tinggi	2.021	1.817.465	4%
Total		48.619.215	100%

Berdasarkan hasil perhitungan luas area indeks salinitas pada tahun 2000 dan 2021, terjadi peningkatan luas pada kelas dengan klasifikasi tinggi dan sangat tinggi. Pada tahun 2000 luas area salinitas pada kelas klasifikasi tinggi

adalah 3.029.708 m² dan pada tahun 2021 meningkat menjadi 3.414.604 m². Sedangkan luas salinitas pada kelas klasifikasi sangat tinggi tahun 2000 adalah 1.091.738 m², yang kemudian meningkat menjadi 1.817.465 m² pada tahun 2021. Secara persentase total pada klasifikasi tinggi dan sangat tinggi, terjadi peningkatan luas sebesar 3% atau 1.110.623 m² dari tahun 2000 hingga 2021. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa terjadi peningkatan luas pencemaran pada area pertanian di Kecamatan Asembagus.

Secara umum, salah satu penyebab meningkatnya luas salinitas dapat terjadi karena saluran irigasi yang tercemar oleh aliran air yang memiliki kadar garam tinggi (salin) (Rachman et al., 2018). Selain disebabkan oleh masuknya garam dengan konsentrasi tinggi pada lahan pertanian, menurut Karolinoerita et al., (2020) peningkatan salinitas juga disebabkan oleh rendahnya curah hujan yang menyebabkan proses pencucian garam menjadi tidak optimal, sehingga terjadi akumulasi garam pada permukaan tanah akibat proses evaporasi selama musim kemarau. Berdasarkan penelitian oleh van Rotterdam-Los (2008), mengungkapkan bahwa penggunaan air Sungai Banyuputih yang tercemar air asam sebagai sumber irigasi pertanian di Kecamatan Asembagus hanya dilakukan pada saat musim kemarau. Hal tersebut memperkuat pernyataan sebelumnya tentang penyebab meningkatnya indeks dan luas pencemaran salinitas.

4.5. Analisis Korelasi Produktivitas Pertanian dan Luas Indeks Salinitas

Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan kuat antara dua variabel tanpa terpengaruh oleh kondisi suatu variabel dengan variabel lain (Sekaran, 2003). Uji korelasi pada penelitian ini akan menggunakan uji korelasi *Pearson Product Moment*. Uji korelasi *Pearson* digunakan untuk mencari hubungan antara variabel produktivitas pertanian (sumbu X) dengan luas indeks salinitas (sumbu Y). Data produktivitas pertanian berasal dari Dinas Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan Kabupaten Situbondo dengan rentang waktu 2013-2020. Sedangkan data

luas indeks salinitas dihitung menggunakan proyeksi, karena hanya terdapat 2 data yang diketahui yaitu luas indeks salinitas tahun 2000 dan 2021. Metode proyeksi yang digunakan untuk menghitung luas indeks salinitas adalah metode geometrik, metode tersebut dipilih karena memiliki hasil standar deviasi yang lebih kecil dari metode aritmatik. Untuk melihat perbandingan proyeksi dan standar deviasi luas salinitas antara metode geometrik dengan metode aritmatik dapat dilihat pada **Lampiran 3**. Alasan penggunaan *Pearson Product Moment* pada penelitian ini adalah karena data yang digunakan berbentuk kontinu.

Hasil dari sebuah perhitungan analisis korelasi disebut koefisien korelasi (R). Koefisien korelasi (R) dapat berbentuk positif atau negatif dengan rentang nilai berkisar antara +1 hingga -1. Bentuk koefisien korelasi dipengaruhi dipengaruhi oleh hasil analisis korelasi. Jika analisis korelasi yang dilakukan berbentuk negatif maka hasil koefisien korelasi yang dihasilkan juga negatif, hal tersebut juga berlaku pada korelasi yang bersifat positif maka koefisien korelasi yang dihasilkan berbentuk positif (Astuti, 2017). Koefisien korelasi yang menghasilkan positif maupun negatif sama baiknya, karena perbedaan tersebut terjadi karena terdapat perbedaan data variabel. Rentang nilai koefisien korelasi dapat dilihat pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9. Interpretasi Nilai Koefisien Korelasi

Koefisien Korelasi (+/-)	Keterangan Koefisien Korelasi
0,00 - 0,199	Korelasi Sangat Rendah
0,20 - 0,399	Korelasi Rendah
0,40 - 0,599	Korelasi Sedang
0,60 - 0,799	Korelasi Kuat
0,80 - 1,000	Korelasi Sangat Kuat

Sumber: (Sugiyono, 2013).

Persamaan yang digunakan untuk mencari koefisien korelasi (R) produktivitas pertanian dengan luas indeks salinitas menggunakan *Pearson Product Moment* adalah sebagai berikut.

$$R_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Keterangan:

R_{xy} : Koefisien korelasi

n : Jumlah sampel

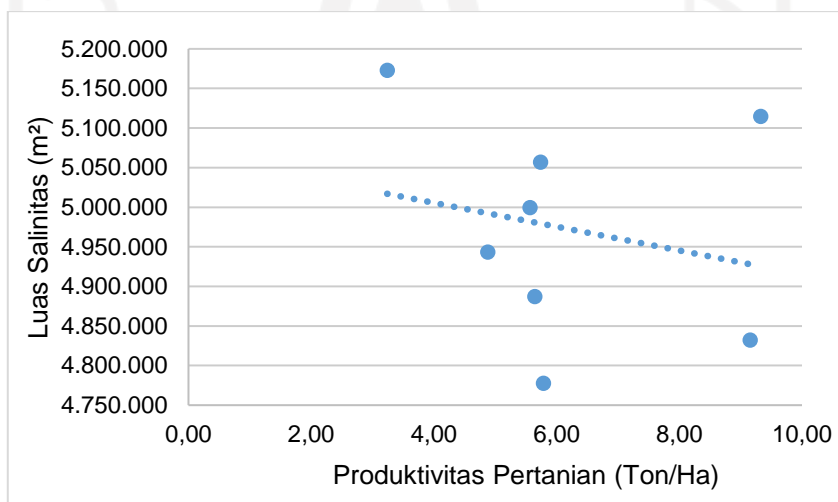
x : Nilai variabel pertama

y : Nilai variabel kedua

Hasil dari analisis korelasi antara variabel produktivitas pertanian (sumbu X) dengan luas indeks salinitas (sumbu Y) diperoleh koefisien korelasi (R) yang dapat dilihat pada pada **Tabel 4.10**. Perhitungan koefisien korelasi metode *Pearson Product Moment* dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

Tabel 4.10. Korelasi antara Produktivitas Pertanian dengan Luas Indeks Salinitas

Nomor	Tahun	Produktivitas Padi (Ton/Ha)	Luas Salinitas (m ²)	Koefisien Korelasi
1	2013	5,78	4.777.467	
2	2014	9,15	4.832.059	
3	2015	5,64	4.887.274	
4	2016	4,88	4.943.120	-0,225
5	2017	5,56	4.999.604	
6	2018	5,74	5.056.734	
7	2019	9,32	5.114.516	
8	2020	3,24	5.172.959	



Gambar 4.33. Korelasi antara Produktivitas Pertanian dengan Luas Indeks Salinitas

Berdasarkan hasil analisis korelasi pada **Tabel 4.10**, menunjukkan nilai koefisien korelasi (R) sebesar -0,225 dengan interpretasi korelasi menurut penelitian Sugiyono (2013) masuk dalam hubungan korelasi rendah. Menurut Yadav (2018), arti dari hasil *scatter plot* pada **Gambar 4.33** adalah terdapat hubungan korelasi walaupun tingkat keeratannya rendah. Lebih lanjut, Yadav juga menjelaskan jika koefisien korelasi antara dua variabel lemah, maka titik-titik observasinya akan sedikit menyebar dari garis linear, namun pola linearnya masih dapat terlihat.

Penyebab terjadinya koefisien korelasi negatif adalah nilai pada pertumbuhan data variabel yang berlawanan, misalnya data pada variabel X mengalami peningkatan sedangkan nilai pada variabel Y mengalami penurunan (Astuti, 2017). Pernyataan dari Astuti tersebut sesuai dengan data variabel yang digunakan pada penelitian ini, dimana produktivitas pertanian (sumbu X) mengalami penurunan, sedangkan luas indeks salinitas (sumbu Y) meningkat sehingga menghasilkan nilai R negatif. Walaupun nilai korelasi -0,225 masuk dalam kategori korelasi rendah, hal tersebut tetap menunjukkan bahwa terdapat pengaruh dari adanya peningkatan luas pencemaran salinitas terhadap penurunan produktivitas pertanian di Kecamatan Asembagus, Kabupaten Situbondo, Provinsi Jawa Timur.

4.6. Alternatif Pengolahan

Pengelolaan yang dapat dilakukan untuk mengatasi penurunan produktivitas pertanian dampak dari adanya pencemaran air asam adalah sebagai berikut.

1. Menambahkan dolomit (kapur pertanian) untuk meningkatkan konsentrasi pH tanah. Kalsium yang terkandung pada dolomit bermanfaat untuk menghilangkan Na pada tanah, sehingga kandungan natrium tereduksi dan salinitas menurun (Rachman et al, 2018).
2. Mencegah penggunaan air irigasi asam dan diganti dengan air irigasi netral.
3. Mengganti varietas bibit padi dengan bibit yang tahan pada lahan salin (Rachman et al, 2018). Metode ini dapat digunakan jika perubahan sumber jaringan irigasi menggunakan air netral tidak bisa dilakukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Perbedaan nilai temporal indeks salinitas pada musim kemarau tahun 2000 dan 2021 adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai indeks salinitas keseluruhan pada area sawah tahun 2000 nilai maksimum; nilai minimum; nilai rata-rata dan standar deviasi secara berturut-turut sebesar 114,38; 22,71; 44,45 dan 10,59.
 - b. Nilai indeks salinitas keseluruhan pada area sawah tahun 2021 nilai maksimum; nilai minimum; nilai rata-rata dan standar deviasi secara berturut-turut sebesar 15.202,42; 6.012,43; 7.864,89 dan 996,52.
2. Nilai temporal indeks salinitas tanah pada sawah asam dan netral tahun 2000 dan 2021 sebagai berikut:
 - a. Nilai indeks salinitas berdasarkan sampel area sawah asam pada tahun 2000 memiliki nilai maksimum pada titik 51 sebesar 102,15; nilai minimum pada titik 120 sebesar 29,28; dengan nilai rata-rata sebesar 57,43. Sedangkan pada tahun 2021 nilai maksimum pada titik 105 sebesar 11.782,80; nilai minimum pada titik 4 sebesar 6.370,54; dengan nilai rata-rata sebesar 8.222,11.
 - b. Nilai indeks salinitas berdasarkan sampel area sawah netral pada tahun 2000 memiliki nilai maksimum pada titik 152 sebesar 90,37; nilai minimum pada titik 126 sebesar 26,20; dengan nilai rata-rata sebesar 44,50. Sedangkan pada tahun 2021 nilai maksimum pada titik 265 sebesar 11.627,40; nilai minimum pada titik 126 sebesar 6.377,94; dengan nilai rata-rata sebesar 7.590,49.
3. Luas area indeks salinitas tahun 2000 dan 2021 dari total luas lahan pertanian 48.619.215 m² adalah sebagai berikut:

- a. Luas area indeks salinitas tahun 2000 dari kelas klasifikasi sangat rendah; rendah; sedang; tinggi dan sangat tinggi secara berturut-turut adalah seluas 13.419.205 m²; 17.924.648 m²; 13.153.915 m²; 3.029.708 m² dan 1.091.738 m².
 - b. Luas area indeks salinitas tahun 2021 dari kelas klasifikasi sangat rendah; rendah; sedang; tinggi dan sangat tinggi secara berturut-turut adalah seluas 13.602.661 m²; 18.929.155 m²; 10.855.330 m²; 3.414.604 m² dan 1.817.465 m².
4. Koefisien korelasi (R) antara produktivitas pertanian terhadap luas indeks salinitas dalam rentang waktu 2013-2020 adalah -0,225 dan kategori korelasinya rendah.

5.2. Saran

1. Melakukan pendataan ulang pada produksi hasil pertanian. Diharapkan, minimal terdapat 10 tahun masa produksi, sehingga latar belakang permasalahan pencemaran air asam pada penelitian ini menjadi lebih detail dan lengkap.
2. Perlu dilaksanakan penelitian lebih lanjut untuk menganalisis indeks salinitas pada area pertanian, sehingga data yang diolah lebih akurat.
3. Kendala yang dialami pada penelitian ini terjadi saat pengumpulan data citra satelit karena terdapat rekaman citra satelit yang tertutup awan serta terjadi *segmented error* pada rekaman citra satelit.
4. Perlu dilakukan validasi menggunakan data lapangan pada hasil indeks salinitas, karena nilai indeks pada citra Landsat belum memiliki satuan nilai.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A. & Khan, S. 2007. *Using Remote Sensing Techniques of Appraisal of Irrigated Soil Salinity*. International Congress on Modelling and Simulation of Australia and New Zealand Christchurch, New Zealand.
- Ala, A., Mariah, Y., Zakiah, D., Fitriah, D. 2018. *Analisa Pengaruh Salinitas Dan Derajat Keasaman (pH) Air Laut Di Pelabuhan Jakarta Terhadap Laju Korosi Plat Baja Material Kapal*. Jurnal METEOR STIP Marunda Vol. 11, No.2.
- Alhammadi, M.S. & Glenn, E.P. 2008. *Detecting date palm trees health and vegetation greenness change on the eastern coast of the United Arab Emirates using SAVI*. International Journal of Remote Sensing Vol. 29 No. 6: 1.745-1.765.
- Amliana, D.R., Prasetyo, Y., Sukmono, A. 2016. *Analisis Perbandingan Nilai NDVI Landsat 7 dan Landsat 8 pada Kelas Tutupan Lahan (Studi Kasus: Kota Semarang, Jawa Tengah)*. Jurnal Geodesi Undip Vol. 5, No. 1.
- Ansari, M. & Akhoondzadeh, M. 2019. *Mapping water salinity using Landsat-8 OLI satellite images (Case study: Karun basin located in Iran)*. Advances in Space Research: Journal Pre-proofs.
- Asfaw, E., Suryabagavan, K.V., Argaw, M. 2018. *Soil Salinity Modeling and Mapping Using Remote Sensing and GIS: The Case of Wonji Sugar Cane Irrigation Farm, Ethiopia*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17: 250-258.
- Astuti, C. C. 2017. *Analisis Korelasi untuk Mengetahui Keeratan Hubungan antara Keaktifan Mahasiswa dengan Hasil Belajar Akhir*. Journal of Information and Computer Technology Education, 1(1): 1-7.
- Badan Geologi. 2014. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Kementerian ESDM.

- Bannari, A. & Al-Ali, Z. M. 2020. *Assessing Climate Change Impact on Soil Salinity Dynamics between 1987–2017 in Arid Landscape Using Landsat TM, ETM+ and OLI Data*. *Remote Sensing*, 12: 2.794.
- Bannari, A., Guedon, A.M., El-Harti, A., Cherkaoui, F.Z., El-Ghmari, A. 2008. *Characterization of Slightly and Moderately Saline and Sodic Soils in Irrigated Agricultural Land using Simulated Data of Advanced Land Imaging (EO-1) Sensor*. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 2.795-2.811.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Situbondo. 2021. ***Kecamatan Asembagus dalam Angka Tahun 2013-2020***. Situbondo: Badan Pusat Statistik.
- Caudron, C., Syahbana, D.K., Lecocq, T., van Hinsberg, V., McCausland, W., Triantafyllou, A., Camelbeeck, T., Bernard, A., Surono. 2015. *Kawah Ijen volcanic activity: A review*. *Bull. Volcanol.* 77:16.
- Crisana, C.T. 2014. *Analisis Perbandingan Metode Klasifikasi Autocorrelation Based Regioclassification (ACRC) dan Non-ACRC untuk Data Spasial*. Skripsi. Departemen Ilmu Komputer. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian. Bogor.
- Dehni, A. & Lounis, M. 2012. *Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping Application to the Oran Region of Algeria*. *Procedia Engineering*, 33: 188-198.
- Delavar, M.A., Naderi, A., Ghorbani, Y., Mehrpouyan, A. Bakhsi, A. 2020. *Soil Salinity Mapping by Remote Sensing South of Urmia Lake, Iran*. *Geoderma Regional*, 22.
- Delmelle P. & Bernard, A. 2000. *Downstream composition changes of acidic volcanic waters discharged into the Banyupahit stream, Ijen caldera, Indonesia*. *Journal Volcanology Geothermal Research*, 97(1–4): 55–75.

- Dewi, R.G. & Achmar, M. 2016. *Dampak Konversi Lahan Terhadap Pendapatan Petani di Kecamatan Panji Kabupaten Situbondo*. Jurnal Ilmiah Agribios, Vol. 14, No.2.
- Douaoui, A.E.K., Nicolas, H., Walter, C. 2006. *Detecting salinity hazards within a semiarid context by means combining soil and remote-sensing data*. Geoderma, 134: 217-230.
- [DTPHP] Dinas Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan Kabupaten Situbondo. 2021. ***Produktivitas Hasil Pertanian di Kecamatan Asembagus dan Banyuputih Tahun 2013-2020***. Situbondo: DTPHP.
- Elhag, M. 2016. *Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia*. Hindawi Publishing Corporation: Journal of Sensors.
- Hailu, B. & Mehari, H. 2021. *Impacts of Soil Salinity/Sodicity on Soil-Water Relations and Plant Growth in Dry Land Areas: A Review*. Journal of Natural Sciences Research Vol.12, No.3.
- Hariyanto, T., Wahyudi, Artama, P., Suntoyo. 2010. *Penggunaan Citra Satelit Landsat ETM 7+ untuk Evaluasi Perubahan Garis Pantai di Wilayah Pantai Utara Jawa Timur (Kab.Tuban, Kab.Lamongan & Kab.Gresik)*. GEOID Vol.5 No.2: 125-130.
- Hawalid, H. & Anggriawan, F. 2018. *Response of Growth of Various Varieties of Sugar Cane (Saccharum officinarum L.) on Various Biological Organic Fertilizers in Polybags*. Klorofil XII-1: 27-36.
- Heikens, A., Widianarko, B., Dewi, I., De Boer, J., Seinen, W., van Leeuwen, K. 2005. *The impact of the hyperacid Ijen Crater Lake. Part I: concentrations of elements in crops and soil*. Environmental Geochemistry and Health 27: 409–418.

- Kamran, M., Parveen, A., Ahmar, S., Malik, Z., Hussain, S., Chattha, M.S., Saleem, H., Adil, M., Heidari, P., Chen, J. 2020. *An Overview of Hazardous Impacts of Soil Salinity in Crops, Tolerance Mechanisms, and Amelioration through Selenium Supplementation*. *Int. J. Mol. Sci.* 21, 148.
- Karolinoerita, V. & Yusuf, W. A. 2020. *Salinisasi Lahan dan Permasalahannya di Indonesia*. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol.14 No. 2: 91-99.
- Khan, N.M., Rastoskuev, V.V., Sato, Y., Shiozawa, S. 2005. *Assesment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators*. *Agricultural Water Management*, 77: 96-109.
- Khan, N.M., Rastoskuev, V.V., Shalina, E.V., Sato, Y. 2001. *Mapping Salt-affected Soils Using Remote Sensing Indicators: A Simple Approach With the Use of GIS IDRISI*. 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5(9).
- Kholil. 2017. *The Utilization of Geographic Information Sistem (GIS) in the Reporting and Tracking Applications Android-Based Crimes*. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi* Vol. 6 No. 1: 51-58.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W. 2004. ***Remote Sensing and Image Interpretation: 7th Edition***. New York: John Wiley & Sons.
- Löhr, A.J., Boogard, T., Heikens, A., Hendriks, M., Sumarti, S., Van Bergen, M., Van Gestel, C., Van Straalen, N., Vroon, P., Widianarko, B. 2005. *Natural Pollution Caused by the Extremely Acidic Crater Lake Kawah Ijen, East Java, Indonesia*. *ESPR-Environ Sci & Pollut Res* 12(2): 89-95.
- Louhenapessy, D. & Waas, H.J.D. 2009. *Applications of Remote Sensing Technology and Geographic Information System to Mapping the Chlorophyll-a of Phytoplankton*. *Jurnal TRITON* Vol. 5 No. 1: 41-52.

- Muliawan, N.R.E., Sampurno, J., Jumarang, M.I. 2016. *Identifikasi Nilai Salinitas Pada Lahan Pertanian di Daerah Jungkat Berdasarkan Metode Daya Hantar Listrik (DHL)*. PRISMA FISIKA Vol. IV, No.02: 69-72.
- Nailufar, N.N. 2020. *Jenis-jenis Danau Berdasarkan Proses Terbentuknya*. [internet]. [diakses 09 Maret 2021]. Tersedia pada: <https://www.kompas.com/skola/read/2020/04/06/080000569/jenis-jenis-danau-berdasarkan-proses-terbentuknya>.
- Nazir, M., Syakur, Muyassir. 2017. *Mapping Soil Acidity and Analysis of Llime Requirement InDistrict of Pidie District Keumala*. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah Vol.2, No.1.
- Oktaviani, A. & Yarjohan. 2016. *Perbandingan Resolusi Spasial, Temporal dan Radiometrik serta Kendalanya*. Jurnal Enggano Vol.1, No.2: 74-79.
- Osaragi, T. 2018. *Classification Methods for Spatial Data Representation*. Japan. Tokyo Institute of Technology. Graduate School of Information Science and Engineering.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Prasetyo, S.Y.J., Christianto, Y.B., Hartono, K.D. 2019. *Analisis Data Citra Landsat 8 OLI Sebagai Indeks Prediksi Kekeringan Menggunakan Machine Learning di Wilayah Kabupaten Boyolali dan Purworejo*. Indonesia Journal of Computing and Modeling Vol. 2, No. 2: 25-36.
- Purnamaningsih, R. & Mariska, I. 2008. *Pengujian Nomor-nomor Harapan Padi Tahan Al dan pH Rendah Hasil Seleksi In Vitro dengan Kultur Hara*. Jurnal AgroBiogen 4(1): 18-23.

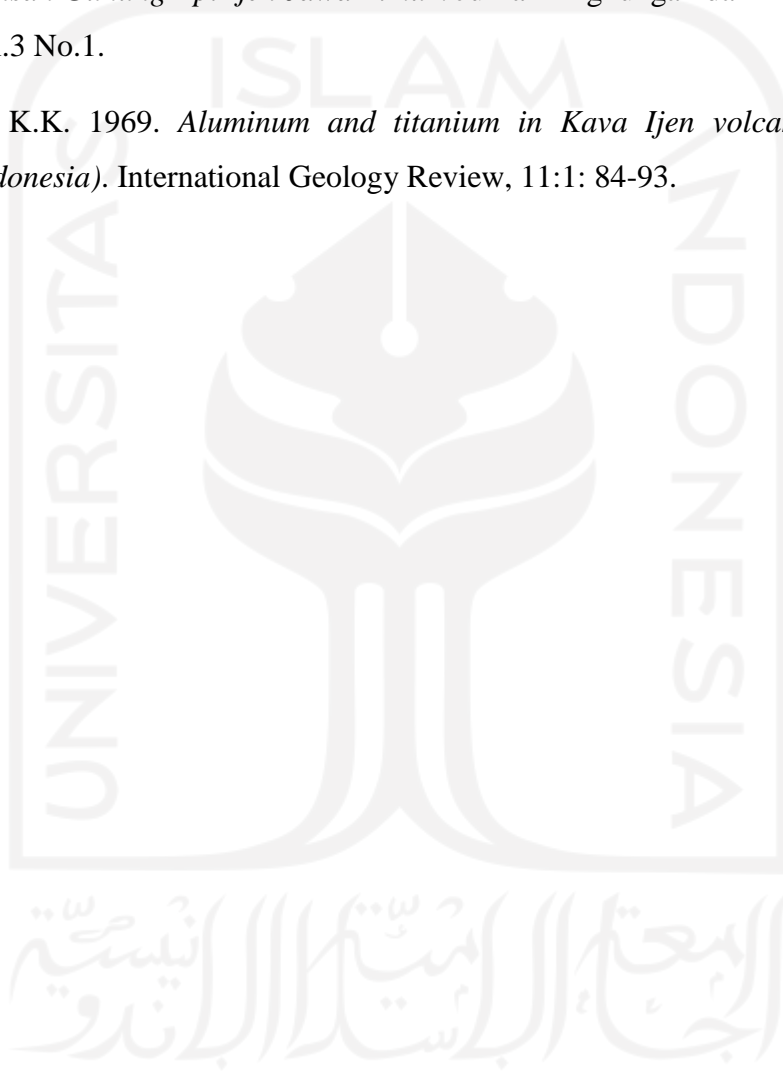
- Rachman, A., Dariah, A., Sutono, S. 2018. *Pengelolaan Sawah Salin Berkadar Garam Tinggi Edisi: 1*. Jakarta (ID): IAARD Press.
- Sartohadi, J., Sianturi, R., Rahmadana, A., Maritimo, F., Wacano, D., Munawaroh, Suryani, T., Pratiwi, E. 2014. *Bentang Sumberdaya Lahan Kawasan IGunungapi Ijen dan sekitarnya*. Yogyakarta (ID): Pustaka Pelajar.
- Sekaran, U. 2003. *Research Methods for Business: A Skill-Building Approach 4th Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Sheets, P. & Grayson, D. 1979. *Volcanic Activity and Human Ecology*. New York : Academic Press.
- Sitorus, S. 2014. *Sistem Informasi Geografis Peningkatan Infrastruktur Jalan di Kota Bandung (Studi Kasus di Dinas BAPPEDA Kota Bandung)*. Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika (KOMPUTA). ISSN: 2089-9033.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sumarti, S. 2006. *Pemantauan Jangka Panjang Kawah Ijen (1922 – 2002) Parameter Fisis: Level Dan Temperatur*. Bandung (ID): Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Sumarti, S., Arif, A., Permanasari, I., Cahyaningrum, S.Y. 2012. Orang-orang Bergigi Keropos dari Ijen. [internet]. [diakses: 15 November 2021]. Tersedia pada: <https://www.google.com/amp/s/amp.kompas.com/travel/read/2012/01/26/21104518/orang-orang-bergigi-keropos-dari-ijen>.
- Suprpto, Taufik, M., Suprijono, E. 2011. *Perakitan Varietas Jagung Hibrida Berdaya Hasil Tinggi dan Adaptif pada Lahan Masam Podsolik Merah Kuning Dengan Dosis Pemupukan yang Rendah*. Program Insentif Riset Terapan-2011. Lembaga Penelitian Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu.

- Takano, B., Suzuki, K., Sugimori, K., Ohba, T., Fazlullin, S.M., Bernard, A., Sumarti, S., Sukhyar, R., Hirabayashi, M. 2004. *Bathymetric and geochemical investigation of Kawah Ijen crater lake, East Java, Indonesia*. Journal Volcanology Geothermal Research 135(4): 299–329.
- USGS. 2013. *Landsat 7*. [internet]. [diakses: 11 September 2021]. Tersedia pada: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/september-27-2013-landsat-7-thermal-band-calibration-update>.
- USGS. 2013. *Landsat 8*. [internet]. [diakses: 11 September 2021]. Tersedia pada: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con.
- van Bergen, M., Bernard, A., Sumarti, S., Sriwana, T. and Sitorus, K., (2000). *Crater lakes of Java: Dieng, Kelud and Ijen*. Excursion Guidebook, International Association of Volcanology of the Earth's Interior (IAVCEI), General Assembly.
- van Rotterdam-Los, A., Vriend, S., Van Bergen, M., Van Gaans, P. 2008. *The effect of naturally acidified irrigation water on agricultural volcanic soils. The case of Asembagus, Java, Indonesia*. Journal Geochemical Exploration, 96: 53–68.
- Widianarko, B., Indriyanti, N.Y., Kusuma, H.A., Rahardjo, T., Setianto, B., Sumarti, S., Löhr, A.J. 2006. *Risk perception of pollution from the Kawah Ijen crater lake among the local communities in the Asembagus irrigation area*. Technical Report. The Netherlands Foundation for the Advancement of Tropical Research (WOTRO) Project.
- Wilczek, A., Szyplowska, A., Kafarski, M., Nakonieczna, A., Skierucha, W. 2017. *Electromagnetic Simulations for Salinity Index Error Estimation*. Measurement Science and Technology, 28.
- Wittiri, S.R. & Agusta, R. 2015. *Ijen Menyesap Pesona Mewaspadai Bahaya*. Geomagz: Majalah Geologi Populer. Badan Geologi-Kementerian ESDM.

Yadav, S. 2018. *Correlation Analysis in Biological Studies*. Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences. Vol. 4 Issue 2: 116-121.

Zaenuddin, A., Wahyudin, D., Surmayadi, M., Kusnidar, E. 2012. *Prakiraan Bahaya Letusan Gunung Api Ijen Jawa Timur*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi Vol.3 No.1.

Zelenov, K.K. 1969. *Aluminum and titanium in Kava Ijen volcano crater lake (Indonesia)*. International Geology Review, 11:1: 84-93.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai Indeks Salinitas Berdasarkan Titik Sampel Area Asam

Tahun 2000		Tahun 2021	
Titik	Nilai Indeks	Titik	Nilai Indeks
1	37,41	1	7922,96
2	64,22	2	8041,72
3	56,21	3	7145,98
4	40,09	4	6370,54
5	38,35	5	7226,71
6	31,02	6	7608,19
7	44,67	7	9194,42
8	40,94	8	10173,60
9	45,26	9	9386,47
10	51,25	10	9827,63
11	62,57	11	10858,50
12	50,96	12	7665,94
13	70,00	13	7389,81
14	40,89	14	8633,46
15	37,35	15	9317,59
16	49,56	16	8350,20
17	38,09	17	8784,99
18	46,71	18	7317,43
19	42,54	19	7463,71
20	33,02	20	6746,56
21	59,94	21	7626,66
22	93,71	22	7753,95
23	63,11	23	7242,97
24	59,59	24	7034,16
25	70,48	25	7005,93
26	35,18	26	7349,99
27	77,51	27	7018,88
28	63,00	28	6964,63
29	47,68	29	7523,23
30	56,44	30	7399,73
31	41,19	31	7880,16
32	46,60	32	7019,63

Tahun 2000		Tahun 2021	
Titik	Nilai Indeks	Titik	Nilai Indeks
33	56,93	33	7881,74
34	78,30	34	7351,13
35	32,30	35	8747,77
36	84,14	36	7870,67
37	51,08	37	6616,71
38	59,87	38	8566,58
39	63,53	39	7503,13
40	56,83	40	11635,90
41	85,98	41	11079,70
42	44,74	42	8536,29
43	65,68	43	8118,83
44	59,68	44	8993,24
45	34,25	45	7397,55
46	48,08	46	7389,83
47	55,92	47	6829,81
48	47,91	48	7336,44
49	55,01	49	7444,99
50	51,41	50	7519,97
51	102,15	51	10981,40
52	63,33	52	7485,43
54	41,07	54	6407,75
55	54,41	55	8811,41
56	99,24	56	7705,99
57	51,82	57	7728,54
58	61,60	58	10113,80
60	47,76	60	7763,27
61	64,24	61	6914,32
62	48,97	62	7899,24
63	64,42	63	7265,82
64	81,40	64	10768,80
65	96,57	65	7837,33
66	46,10	66	7169,09
67	45,00	67	8038,13
68	75,90	68	7361,79
70	39,84	70	10193,00
71	54,22	71	8384,24
72	65,79	72	7734,03

Tahun 2000		Tahun 2021	
Titik	Nilai Indeks	Titik	Nilai Indeks
73	41,48	73	7133,72
74	36,94	74	8488,96
75	73,59	75	9932,83
76	55,56	76	7397,40
77	43,94	77	8509,34
78	52,50	78	8045,49
79	87,74	79	9292,16
80	48,35	80	7535,57
82	62,86	82	9924,84
84	65,45	84	10904,60
87	97,59	87	8351,86
88	64,79	88	10188,40
89	56,14	89	7472,92
90	72,00	90	7696,04
91	62,47	91	7218,09
92	56,32	92	8078,14
93	64,47	93	7092,26
94	64,42	94	7502,93
95	40,73	95	6771,09
96	94,44	96	7429,18
97	51,41	97	9966,46
98	78,47	98	8814,37
99	73,00	99	7235,80
100	70,76	100	7478,91
101	39,88	101	7140,26
102	78,15	102	7631,40
103	62,36	103	7988,41
105	74,63	105	11782,80
106	72,49	106	11238,30
108	101,90	108	8379,09
109	69,77	109	7253,92
110	76,44	110	7853,56
111	53,33	111	10494,40
112	91,67	112	6971,15
115	57,86	115	7600,93
116	52,64	116	10703,30
118	40,50	118	7653,21

Tahun 2000		Tahun 2021	
Titik	Nilai Indeks	Titik	Nilai Indeks
119	62,66	119	8306,14
120	29,28	120	8433,12
122	75,00	122	11703,40
127	50,92	127	7493,58
129	42,34	129	7095,26
130	37,38	130	9637,41
131	48,17	131	8021,99
133	45,21	133	7521,50
134	59,49	134	8079,95
135	47,83	135	9111,69
136	46,48	136	8208,69
137	65,00	137	9878,95
138	38,58	138	9352,47
139	33,47	139	8166,90
140	59,66	140	7199,37
141	90,85	141	10558,00
142	47,76	142	7127,24
145	48,89	145	8068,93
147	38,45	147	7875,09
148	56,88	148	7589,83
149	49,42	149	8120,58
151	66,44	151	6919,64
153	91,57	153	7873,29
154	54,36	154	7625,50
156	52,60	156	7548,30
157	52,41	157	7542,43
158	34,84	158	10202,20
160	59,01	160	9881,70
162	52,60	162	7656,71
164	88,72	164	9021,10
165	53,24	165	7103,60
166	76,60	166	7670,08
167	73,48	167	9826,25
169	65,26	169	8015,03
171	71,91	171	8738,30
174	56,05	174	8670,25
175	57,97	175	10234,80

Tahun 2000		Tahun 2021	
Titik	Nilai Indeks	Titik	Nilai Indeks
179	39,20	179	7671,99
181	42,54	181	7771,95
183	46,71	183	8332,43
184	45,92	184	7219,62
185	61,57	185	10620,60
186	58,88	186	7298,60
187	54,17	187	11344,30
188	40,77	188	7801,95
192	53,51	192	6933,63
197	48,06	197	7025,21
198	43,50	198	8089,07
199	67,72	199	7835,99
204	39,54	204	7628,24
205	61,53	205	7558,01
215	41,18	215	11377,20
219	56,96	219	7974,66
221	60,59	221	8198,62
222	66,31	222	7266,99
223	72,49	223	7374,86
224	56,11	224	7372,35
225	57,82	225	7338,70
226	68,00	226	8690,03
227	54,60	227	8150,07
228	59,84	228	8196,92
244	65,11	244	7457,41
245	66,15	245	8609,68
250	51,63	250	8202,54
251	33,87	251	8233,72
259	39,66	259	9252,00
261	41,79	261	8131,10
266	50,49	266	7931,66
270	62,36	270	7363,84
273	70,00	273	8066,23
275	39,94	275	8305,14
276	74,59	276	7249,48
277	47,68	277	8021,51

Lampiran 2. Nilai Indeks Salinitas Berdasarkan Titik Sampel Area Netral

Tahun 2000		Tahun 2021	
Titik	Nilai Indeks	Titik	Nilai Indeks
53	37,88	53	8618,15
59	36,00	59	7827,56
69	42,06	69	7940,25
81	38,58	81	7284,26
83	51,22	83	7493,44
85	39,06	85	7374,55
86	42,09	86	7107,38
104	40,70	104	8892,37
107	43,94	107	6857,76
113	38,32	113	7427,70
114	48,48	114	7605,03
117	51,30	117	10576,30
121	61,27	121	8378,08
123	43,33	123	7405,08
124	49,01	124	7150,94
125	40,22	125	7492,27
126	26,20	126	6377,94
128	43,65	128	7843,77
132	31,25	132	7649,41
143	63,43	143	7531,24
144	53,18	144	7581,01
146	58,60	146	7289,73
150	29,11	150	6475,94
152	90,37	152	7301,68
155	37,76	155	7112,61
159	32,26	159	6705,07
161	55,83	161	9555,41
163	57,63	163	8161,03
168	55,68	168	6936,59
170	37,74	170	7444,96
172	40,62	172	7226,44
173	53,01	173	7872,12
176	61,00	176	7767,68
177	38,61	177	7065,36
178	44,46	178	8387,11

Tahun 2000		Tahun 2021	
Titik	Nilai Indeks	Titik	Nilai Indeks
180	38,69	180	7465,45
182	29,90	182	6531,19
189	40,00	189	7138,13
190	43,18	190	6692,21
191	40,00	191	8459,32
193	31,66	193	7304,33
194	38,22	194	7153,92
195	43,83	195	7864,05
196	47,14	196	7669,55
200	40,91	200	7317,57
201	30,11	201	6732,43
202	43,15	202	7022,18
203	39,46	203	7734,60
206	60,30	206	6871,48
207	37,38	207	6821,94
208	36,28	208	7475,16
209	40,83	209	7779,95
210	43,20	210	6774,43
211	34,13	211	6941,50
212	34,54	212	6931,32
213	40,22	213	7374,72
214	60,63	214	7240,47
216	35,49	216	7516,92
217	32,45	217	7274,71
218	75,19	218	8074,50
220	39,77	220	6996,31
229	33,60	229	7676,10
230	47,03	230	7321,22
231	35,44	231	11095,80
232	34,81	232	7230,07
233	31,69	233	7533,12
234	56,12	234	8752,50
235	40,22	235	8926,39
236	52,88	236	7351,09
237	38,32	237	7473,41
238	29,24	238	8153,23
239	37,50	239	8308,51

Tahun 2000		Tahun 2021	
Titik	Nilai Indeks	Titik	Nilai Indeks
240	45,39	240	7673,85
241	37,74	241	6766,29
242	42,88	242	7146,35
243	41,35	243	7694,68
246	52,35	246	8014,16
247	37,82	247	7102,60
248	63,27	248	6939,61
249	37,32	249	8011,23
252	43,51	252	6551,33
253	41,87	253	7228,82
254	84,34	254	7682,86
255	47,91	255	7662,23
256	50,45	256	7443,26
257	40,38	257	7241,16
258	31,45	258	7125,94
260	35,75	260	7422,99
262	37,64	262	7455,48
263	54,32	263	7264,20
264	57,17	264	7908,00
265	52,96	265	11627,40
267	41,54	267	7445,17
268	53,17	268	7789,57
269	61,30	269	7486,49
271	51,55	271	7451,88
272	47,50	272	7445,27
274	43,15	274	7591,40

Lampiran 3. Perbandingan Proyeksi Luas Indeks Salinitas Metode Geometrik dan Aritmatik

Proyeksi Salinitas		Metode Aritmatik		Metode Geometrik	
Tahun	Luas Area Salinitas	r	P	r	P
2000	4.121.446		4.121.446		4.121.446
2001			4.174.333		4.168.541
2002			4.227.220		4.216.174
2003			4.280.107		4.264.352
2004			4.332.993		4.313.080
2005			4.385.880		4.362.365
2006			4.438.767		4.412.213
2007			4.491.654		4.462.630
2008			4.544.541		4.513.624
2009			4.597.427		4.565.200
2010		1,28%	4.650.314	1,14%	4.617.366
2011			4.703.201		4.670.128
2012			4.756.088		4.723.493
2013			4.808.975		4.777.467
2014			4.861.862		4.832.059
2015			4.914.748		4.887.274
2016			4.967.635		4.943.120
2017			5.020.522		4.999.604
2018			5.073.409		5.056.734
2019			5.126.296		5.114.516
2020			5.179.182		5.172.959
2021	5.232.069		5.232.069		5.232.069
STANDAR DEVIASI			343.425		343.322

Lampiran 4. Perhitungan Koefisien Korelasi *Pearson Product Moment* Variabel Produktivitas Pertanian dan Luas Indeks Salinitas

Tahun	X	Y	X ²	Y ²	XY
2013	5,78	4.777.467	33,44	22.824.193.995.147	27.627.400
2014	9,15	4.832.059	83,81	23.348.790.530.135	44.235.265
2015	5,64	4.887.274	31,83	23.885.444.512.784	27.570.972
2016	4,88	4.943.120	23,77	24.434.433.074.251	24.099.154
2017	5,56	4.999.604	30,97	24.996.039.715.338	27.820.942
2018	5,74	5.056.734	32,89	25.570.554.452.895	29.000.660
2019	9,32	5.114.516	86,94	26.158.273.969.586	47.689.948
2020	3,24	5.172.959	10,49	26.759.501.767.099	16.757.167
Jumlah	49,32	39.783.732	334,14	197.977.232.017.234	244.801.507

$$R_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Keterangan:

X = Produktivitas Pertanian

Y = Luas Indeks Salinitas

n = Jumlah Variabel

$$n \sum xy = 1.958.412.060$$

$$\sum x \sum y = 1.962.036.617$$

$$n \sum x^2 = 2.673,08$$

$$(\sum x)^2 = 2.432,22$$

$$n \sum y^2 = 1.583.817.856.137.870$$

$$(\sum y)^2 = 1.582.745.306.866.060$$

$$R_{xy} = \frac{1.958.412.060 - 1.962.036.617}{\sqrt{[2.673,08 - 2.432,22][1.583.817.856.137.870 - 1.582.745.306.866.060]}}$$

$$R_{xy} = \frac{-3.624.558}{16.072.767}$$

$$R_{xy} = \underline{\underline{-0,225}}$$