



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ESTIMASI PRODUKTIVITAS KOPI MENGGUNAKAN CITRA
SPOT-7 DENGAN TRANSFORMASI INDEKS VEGETASI
(Studi Kasus: Perkebunan Bangelan PTPN XII)**

LAPORAN TUGAS AKHIR

DEVI NILAM SARI

21110118130040

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI**

**SEMARANG
NOVEMBER 2022**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ESTIMASI PRODUKTIVITAS KOPI MENGGUNAKAN CITRA
SPOT-7 DENGAN TRANSFORMASI INDEKS VEGETASI
(Studi Kasus: Perkebunan Bangelan PTPN XII)**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana (Strata-1)**

**DEVI NILAM SARI
21110118130040**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI**

**SEMARANG
NOVEMBER 2022**

HALAMAN PERNYATAAN

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

Telah saya nyatakan dengan benar

Nama : DEVI NILAM SARI

NIM : 21110118130040

Tanda Tangan :



Tanggal : 28 November 2022

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal Tugas Akhir ini diajukan oleh:




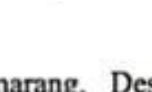
NAMA : Devi Nilam Sari
NIM : 21110118130040
Jurusan/Program Studi : TEKNIK GEODESI
Judul Tugas Akhir :

**ESTIMASI PRODUKTIVITAS KOPI MENGGUNAKAN CITRA SPOT-7
DENGAN TRANSFORMASI INDEKS VEGETASI
(Studi Kasus: Perkebunan Bangelan PTPN XII)**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana/SI pada Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing 1 : Bandi Sasmito, S.T., M.T.
Pembimbing 2 : Dr. Firman Hadi, S.Si., M.T.
Penguji 1 : Mochammad Awaluddin, S.T., M.T.
Penguji 2 : Shofiyatul Qoyimah, S.T., M.S.

()
()
()
()

Semarang, Desember 2022

Ketua Departemen Teknik Geodesi



Dr. Yudo Prasetyo, S.T., M.T.

NIP.197904232006041001

HALAMAN PERSEMBAHAN

"Maka kelak kamu akan ingat kepada apa yang kukatakan kepadamu. Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah. Sungguh, Allah Maha Melihat akan hamba-hambanya."

- QS. Al-Ghafir ayat 44

Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada kedua orangtua atas semua pengorbanan yang telah dilakukan, selalu memberikan nasihat, dan doa yang tidak pernah berhenti diberikan kepada penulis serta seluruh orang yang telah membantu penulis agar bisa bertahan sampai sekarang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha yang telah memberikan nikmat iman, islam, kesehatan dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat saran, bimbingan, dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Yudo Prasetyo, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
2. Bapak Dr. L.M. Sabri, S.T., M.T., selaku dosen wali yang telah mengampu penulis selama masa perkuliahan.
3. Bapak Bandi Sasmito, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Firman Hadi, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Geodesi Universitas Diponegoro yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya.
6. Staff Tata Usaha Departemen Teknik Geodesi yang telah memberikan pelayanannya selama proses perkuliahan.
7. Seluruh pihak instansi dari Perkebunan Bangelan PT Perkebunan Nusantara XII yang telah membantu penulis dalam perolehan data dan penelitian tugas akhir.
8. Orang tua, adik, serta seluruh keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa.
9. Diri saya sendiri yang telah berjuang dan berusaha hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Shobbahul Maulana dan Arie Widya Hapsari yang selalu membantu, membimbing, dan memberikan pengarahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
11. Rihadatul Aisy dan Rizquna Hafizh Kuncarajati yang selalu mendengarkan keluhan kesah dari penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
12. Vira Febianti, Agantry Purba, dan Afifah Zafirah Siregar yang selalu menemani penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

13. Teman-teman dari Keluarga Pinus yang beranggotakan Ayu Meita Astuti, Herninda Rindi Widyaningrum, Erna Risniyanti, Irna Zakiyatin, Akhmad Rizky Fernanda, Erwinda Yuliyanti, Muhammad Adisyah Putra, Ryzal Prasetyo Firdaus yang telah menemani hari-hari penulis dari mahasiswa baru hingga menyelesaikan tugas akhir.
14. Teman-teman dari BPH HM Teknik Geodesi yang beranggotakan Yusufic Mahfuzhy, Galih Pratiwi, Chaerul Macfian Mustakim, Ahmad Bassam, I Putu Surya Raditya Nugraha, dan Dhina Rahardian yang telah berbagai ilmu terkait organisasi dengan penulis.
15. Semua pihak yang telah memberikan dorongan dan dukungan baik berupa material maupun spiritual serta membantu kelancaran dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga penelitian ini menjadi sumbangsih yang bermanfaat bagi dunia sains dan teknologi di Indonesia, terkhusus disiplin ilmu yang penulis alami.

Semarang, 28 November 2022



Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DEVI NILAM SARI

NIM : 21110118130040

Departemen : TEKNIK GEODESI

Fakultas : TEKNIK

Jenis Karya : SKRIPSI

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Nonexclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ESTIMASI PRODUKTIVITAS KOPI MENGGUNAKAN CITRA SPOT-7 DENGAN TRANSFORMASI INDEKS VEGETASI

(Studi Kasus: Perkebunan Bangelan PTPN XII)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 28 November 2022

Yang menyatakan,



Devi Nilam Sari

NIM.21110118130040

ABSTRAK

Kopi adalah komoditas perdagangan yang paling berharga kedua di dunia sehingga dapat meningkatkan devisa negara. Berlandaskan data produksi kopi 2021 yang diterbitkan oleh BPS (Badan Pusat Statistika), Provinsi Jawa Timur mendapatkan urutan ke-16 di Indonesia dalam produksi kopi. Salah satu perkebunan kopi yang ada di Jawa Timur adalah Kebun Bangelan di Desa Bangelan, Kabupaten Malang. Perkebunan Bangelan adalah perkebunan peninggalan Pemerintah Hindia Belanda. Perkebunan ini didirikan pada tahun 1901 sebagai kebun percobaan. Setiap tahun produktivitas dari Kebun Bangelan tidak menentu, oleh karena itu perlu adanya *monitoring* secara kontinu. Pada bidang pertanian, pengindraan jauh dapat dimanfaatkan untuk melakukan estimasi produktivitas dari tanaman kopi. Pengindraan jauh sendiri adalah akuisisi data suatu objek oleh sebuah alat yang tidak secara fisik melakukan kontak dengan objek tersebut. Salah satu keuntungan pengindraan jauh adalah citra dapat secara cepat meskipun untuk daerah yang sulit dijelajahi secara terrestrial. Riset ini memakai data citra SPOT-7 dengan indeks vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), MNDVI (*Modified Normalized Difference Vegetation Index*), dan GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*). Klasifikasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu MESMA (*Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis*) untuk mengatasi permasalahan piksel campuran. Tujuan dari riset ini untuk mengetahui akurasi klasifikasi tutupan lahan dengan MESMA dan mengetahui estimasi produktivitas kopi di Kebun Bangelan.

Perhitungan estimasi produktivitas pada penelitian ini menggunakan regresi linier sederhana, polinomial, dan linier berganda. Berdasar perhitungan regresi linier sederhana, model estimasi terbaik dihasilkan oleh NDVI yang memiliki standar deviasi sebesar 0,506 ton/Ha dengan produktivitas sebesar 34.396,309 kg/Ha. Berlandas perhitungan dengan regresi polinomial, model estimasi terbaik dihasilkan oleh NDVI dengan standar deviasi sebesar 0,464 ton/Ha dan produktivitas sebesar 34.397,779 kg/Ha. Pada perhitungan dengan regresi linier berganda, model estimasi terbaik dihasilkan oleh NDVI dengan standar deviasi sebesar 0,352 ton/Ha dan produktivitas sebesar 34.397,899 kg/Ha.

Kata Kunci: Estimasi Produktivitas Kopi, Indeks Vegetasi, Kebun Bangelan, Spectral Mixture Analysis, SPOT-7

ABSTRACT

Coffee can boost the nation's foreign exchange because it is the second-most valued trading good in the world. East Java Province ranks 16th in Indonesia for coffee output according to the BPS's (Central Statistics Agency) 2021 data. The Bangelan Plantation is one of the East Java coffee farms still in operation. It is located in Bangelan Village, Malang Regency. The Dutch East Indies government left a plantation behind, known as Bangelan Plantation. As a test garden, this plantation was built in 1901. The production of Bangelan Plantation varies from year to year, necessitating ongoing observation. Remote sensing in agriculture can be used to calculate the production of coffee plants. Remote sensing is the process of gathering information about an object from a gadget without actually touching it. Images can be quickly captured via remote sensing, even in locations that are challenging to investigate on foot. The vegetation indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), MNDVI (Modified Normalized Difference Vegetation Index), and GNDVI are used in this study's SPOT-7 picture data (Green Normalized Difference Vegetation Index). The classification employed in this study to address mixed-pixel issues is MESMA (Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis). This study aims to quantify coffee productivity in the Bangelan Plantation as well as the precision of MESMA's land cover classification.

In this study, simple linear regression, polynomial regression, and multiple linear regression were used to calculate productivity estimates. Based on simple linear regression calculations, the NDVI, which has a standard deviation of 0.506 tons/ha and a productivity of 34,396.309 kg/ha, produces the best estimation model. Based on polynomial regression calculations, the NDVI model, which has a standard deviation of 0.464 tons/ha and a productivity of 34,397.779 kg/ha, produces the best estimation model. The best estimating model for calculations using multiple linear regression is the NDVI, which has a standard deviation of 0.352 tons/ha and a productivity of 34,397.899 kg/ha.

Keywords: *Bangelan Plantation, Coffee Productivity Estimation, Spectral Mixture Analysis, SPOT-7, Vegetation Index*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	5
I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	5
I.4 Batasan Penelitian	6
I.5 Skema Kerangka Berpikir	7
I.6 Sistematika Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
II.1 Penelitian Terdahulu.....	9
II.2 Kopi	11
II.3 Produktivitas Kopi.....	12
II.4 Perkebunan Bangelan	13
II.5 Pengindraan Jauh.....	15
II.6 SPOT-7 (<i>Satellite Pour l'Observtion de la Terre-7</i>).....	15
II.7 Koreksi Radiometrik	16
II.8 Indeks Vegetasi	17
II.8.1 <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i>	17
II.8.2 <i>Modified Normalized Difference Vegetation Index (MNDVI)</i>	18
II.8.3 <i>Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)</i>	19

II.9	Piksel Campuran.....	19
II.9.1	<i>Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (MESMA)</i>	20
II.10	<i>Sliding Window</i>	21
II.11	Regresi	21
II.11.1	Regresi Linier Sederhana.....	21
II.11.2	Regresi Polinomial	22
II.11.3	Regresi Linier Berganda.....	22
II.12	Uji Normalitas	23
II.13	Uji Korelasi	24
II.14	Uji Akurasi	24
II.14.1	Uji Validasi Tutupan Lahan	24
II.14.2	Uji Akurasi Pemodelan.....	25
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	27
III.1	Persiapan.....	27
III.2	Alat dan Data Penelitian	27
III.2.1	Alat	27
III.2.2	Data.....	27
III.3	Lokasi Penelitian	28
III.4	Diagram Alir Penelitian.....	30
III.5	Tahap Pra Pengolahan Data.....	32
III.5.1	Pemisahan Band	32
III.5.2	Koreksi Radiometrik	35
III.5.3	<i>Layer Stacking</i>	38
III.5.4	Pemotongan Citra	40
III.6	Tahap Pengolahan.....	41
III.6.1	Pembuatan <i>Spectral Library</i>	41
III.6.2	<i>Iterative Endmember Selection (IES)</i>	46
III.6.3	Klasifikasi MESMA	47
III.6.4	Uji Akurasi	52
III.6.5	Pengolahan <i>Raster to Vector (Polygonize)</i>	56
III.6.6	Transformasi Indeks Vegetasi	59

III.6.7	Pengolahan <i>Sliding Window</i>	61
III.6.8	Uji Statistik	62
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	66
IV.1	Hasil dan Analisis Tutupan Lahan Klasifikasi MESMA	66
IV.2	Hasil dan Analisis Uji Akurasi	71
IV.3	Hasil Uji Normalitas	73
IV.4	Hasil dan Analisis Transformasi Indeks Vegetasi	75
IV.4.1	NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>)	76
IV.4.2	MNDVI (<i>Modified Normalized Difference Vegetation Index</i>)	78
IV.4.3	GNDVI (<i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i>)	80
IV.5	Hasil dan Analisis Regresi Linier Sederhana	82
IV.6	Hasil dan Analisis Regresi Polinomial	85
IV.7	Hasil dan Analisis Regresi Linier Berganda	88
IV.8	Hasil Estimasi Produktivitas Kopi Regresi Linier Sederhana	94
IV.9	Hasil Estimasi Produktivitas Kopi Regresi Polinomial	96
IV.10	Hasil Estimasi Produktivitas Kopi Regresi Linier Berganda	99
IV.11	Analisis Hasil Estimasi Regresi	101
IV.12	Hasil dan Analisis Validasi Estimasi Produktivitas Kopi	105
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	114
V.1	Kesimpulan	114
V.2	Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	xviii
LAMPIRAN	xxiv

DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1 Skema Kerangka Berpikir	7
Gambar II-1 Tumbuhan Kopi	11
Gambar II-2 Peta Kebun Bangelan	13
Gambar II-3 Piksel campuran	20
Gambar III-1 Data Penelitian	28
Gambar III-2 Peta Lokasi Kebun PTPN XII	29
Gambar III-3 Diagram Alir Riset	30
Gambar III-4 Diagram Alir Riset Lanjutan	31
Gambar III-5 <i>Add Layer</i>	32
Gambar III-6 Pilih Citra	33
Gambar III-7 <i>Split Raster Bands</i>	33
Gambar III-8 <i>Run</i>	34
Gambar III-9 Metadata	36
Gambar III-10 TOA <i>Radiance</i>	37
dGambar III-11 TOA <i>Reflectance</i>	37
Gambar III-12 (a) Histogram Sebelum Koreksi Radiometrik, (b) Histogram Setelah Koreksi Radiometrik	38
Gambar III-13 <i>Band Set</i>	39
Gambar III-14 <i>Input Band</i>	39
Gambar III-15 Hasil <i>Layer Stacking</i>	40
Gambar III-16 <i>Clip Raster by Mask</i>	40
Gambar III-17 <i>Run</i>	41
Gambar III-18 Clip Citra	41
Gambar III-19 Tampilan Citra SPOT-7	42
Gambar III-20 <i>Spectral Library Tool</i>	42
Gambar III-21 <i>Create Library</i>	42
Gambar III-22 <i>Select New Profile From Map</i>	43
Gambar III-23 <i>Add Profiles Automatically</i>	43
Gambar III-24 Titik <i>Spectral Library</i>	44

Gambar III-25 Plot Satu Piksel.....	44
Gambar III-26 Plot Dua Piksel	45
Gambar III-27 <i>Add Field</i>	45
Gambar III-28 Tampilan <i>Spectral Library</i>	45
Gambar III-29 <i>Export Spectral Library</i>	46
Gambar III-30 IES	46
Gambar III-31 <i>Iterative Endmember Selection</i>	47
Gambar III-32 Tampilan pembentukan <i>spectral library</i> (i) dan <i>spectral library</i> hasil IES (ii)	47
Gambar III-33 <i>Plugin MESMA</i>	48
Gambar III-34 <i>Tool MESMA</i>	48
Gambar III-35 <i>MESMA Tool</i>	48
Gambar III-36 (i) Tampilan Model MESMA dan (ii) Tampilan <i>Fraction MESMA</i>	49
Gambar III-37 Tampilan RMSE MESMA	49
Gambar III-38 Tampilan MESMA <i>Endmember Model Rendering</i>	50
Gambar III-39 <i>Shade Normalisation Tool</i>	50
Gambar III-40 <i>Shade Normalisation Toolbox</i>	50
Gambar III-41 <i>Soft to Hard Classification</i>	51
Gambar III-42 <i>Hard Classification Toolbox</i>	51
Gambar III-43 Hasil <i>Hard Classification</i>	51
Gambar III-44 <i>Clip Raster by Mask Layer Toolbox</i>	52
Gambar III-45 Hasil <i>Clip</i>	52
Gambar III-46 <i>Install AcATaMa</i>	53
Gambar III-47 Ikon AcATaMa.....	53
Gambar III-48 <i>Thematic Raster</i>	53
Gambar III-49 <i>Stratified Random Sampling</i>	54
Gambar III-50 Titik Sampel	54
Gambar III-51 <i>Open The Classification Dialog</i>	55
Gambar III-52 <i>Classification of Samples</i>	55
Gambar III-53 <i>Set The Classification Buttons</i>	56
Gambar III-54 <i>Accuracy Assessment</i>	56

Gambar III-55 <i>Polygonize</i>	57
Gambar III-56 <i>Toolbox Polygonize</i>	57
Gambar III-57 Hasil <i>Polygonize</i>	57
Gambar III-58 <i>Fix geometries</i>	58
Gambar III-59 <i>Fix Geometries Toolbox</i>	58
Gambar III-60 <i>Geoprocessing Tools - Dissolve</i>	59
Gambar III-61 Tampilan <i>Dissolve</i>	59
Gambar III-62 <i>Add Data</i>	60
Gambar III-63 <i>Raster Calculator</i>	60
Gambar III-64 (a) Rumus NDVI, (b) Rumus MNDVI, dan (c) Rumus GNDVI	61
Gambar III-65 Hasil Tranformasi Indeks Vegetasi (a) NDVI, (b) MNDVI, dan (c) GNDVI	61
Gambar III-66 <i>R.texture</i>	61
Gambar III-67 <i>Sliding Window</i>	62
Gambar III-68 Nilai Kritis Liliefors	63
Gambar IV-1 Peta Afdeling Kebun Bangelan	76
Gambar IV-2 Hasil Regresi Linier Sederhana NDVI	83
Gambar IV-3 Hasil Regresi Linier Sederhana MNDVI	84
Gambar IV-4 Hasil Regresi Linier Sederhana GNDVI	84
Gambar IV-5 Hasil Regresi Polinomial NDVI	86
Gambar IV-6 Hasil Regresi Polinomial MNDVI	87
Gambar IV-7 Hasil Regresi Polinomial GNDVI	87
Gambar IV-8 Regresi Linier Berganda NDVI	89
Gambar IV-9 Parameter Signifikan	91
Gambar IV-10 Regresi Linier Berganda MNDVI	91
Gambar IV-11 Parameter Signifikan	92
Gambar IV-12 Regresi Linier Berganda GNDVI	93
Gambar IV-13 Hasil Estimasi Produktivitas Kopi	101
Gambar IV-14 Selisih Hasil Estimasi dengan Data Lapangan	102
Gambar IV-15 Selisih Hasil Estimasi Antar Regresi	103
Gambar IV-16 Total Estimasi dengan NDVI, MNDVI, dan GNDVI	104

Gambar IV-17 Standar Deviasi Model..... 112

DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Telaah Penelitian Terdahulu	9
Tabel II-2 Telaah Penelitian Terdahulu Lanjutan.....	10
Tabel II-3 Band SPOT-7	16
Tabel II-4 Matriks Konfusi	24
Tabel II-5 Matriks Konfusi Lanjutan	25
Tabel III-1 Hasil Pemisahan Band.....	34
Tabel III-2 Hasil Pemisahan Band Lanjutan	35
Tabel III-3 Nilai Histogram Sebelum dan Sesudah Koreksi Radiometrik	38
Tabel III-4 Sampel Data Produktivitas Kopi.....	64
Tabel III-5 Validasi Data Produktivitas Kopi.....	65
Tabel IV-1 Kelas Klasifikasi MESMA	67
Tabel IV-2 Kelas Klasifikasi MESMA Lanjutan	68
Tabel IV-3 Kelas Klasifikasi MESMA Lanjutan	69
Tabel IV-4 Kelas Klasifikasi MESMA Lanjutan	70
Tabel IV-5 Hasil Matriks Konfusi.....	72
Tabel IV-6 Sampel Data Produksi Pemodelan	73
Tabel IV-7 Sampel Data Produksi Pemodelan	74
Tabel IV-8 Data Produksi Validasi Pemodelan.....	74
Tabel IV-9 Data Produksi Validasi Pemodelan Lanjutan	75
Tabel IV-10 Hasil Indeks Vegetasi NDVI	77
Tabel IV-11 Hasil Indeks Vegetasi NDVI Lanjutan	78
Tabel IV-12 Hasil Indeks Vegetasi MNDVI.....	78
Tabel IV-13 Hasil Indeks Vegetasi MNDVI Lanjutan.....	79
Tabel IV-14 Hasil Indeks Vegetasi MNDVI Lanjutan.....	80
Tabel IV-15 Hasil Indeks Vegetasi GNDVI.....	80
Tabel IV-16 Hasil Indeks Vegetasi GNDVI Lanjutan	81
Tabel IV-17 Hasil Indeks Vegetasi GNDVI Lanjutan	82
Tabel IV-18 Tabel Klasifikasi Koefisien Pearson.....	83
Tabel IV-19 Rumus, R^2 , dan R Indeks Vegetasi Regresi Linier Sederhana	85
Tabel IV-20 Rumus, R^2 , dan R Indeks Vegetasi Regresi Polinomial	88

Tabel IV-21 Hasil Estimasi Regresi Linier Sederhana.....	94
Tabel IV-22 Hasil Estimasi Regresi Linier Sederhana Lanjutan	95
Tabel IV-23 Hasil Estimasi Regresi Polinomial	96
Tabel IV-24 Hasil Estimasi Regresi Polinomial Lanjutan	97
Tabel IV-25 Hasil Estimasi Regresi Polinomial Lanjutan	98
Tabel IV-26 Hasil Estimasi Regresi Linier Berganda	99
Tabel IV-27 Hasil Estimasi Regresi Linier Berganda Lanjutan.....	100
Tabel IV-28 Tabel Standar Deviasi NDVI Regresi Linier Sederhana	105
Tabel IV-29 Tabel Standar Deviasi NDVI Regresi Linier Sederhana Lanjutan	106
Tabel IV-30 Tabel Standar Deviasi MNDVI Regresi Linier Sederhana.....	106
Tabel IV-31 Tabel Standar Deviasi GNDVI Regresi Linier Sederhana	106
Tabel IV-32 Tabel Standar Deviasi GNDVI Regresi Linier Sederhana Lanjutan	107
Tabel IV-33 Tabel Standar Deviasi NDVI Regresi Polinomial	107
Tabel IV-34 Tabel Standar Deviasi NDVI Regresi Polinomial Lanjutan.....	108
Tabel IV-35 Tabel Standar Deviasi MNDVI Regresi Polinomial.....	108
Tabel IV-36 Tabel Standar Deviasi MNDVI Regresi Polinomial Lanjutan	109
Tabel IV-37 Tabel Standar Deviasi GNDVI Regresi Polinomial	109
Tabel IV-38 Tabel Standar Deviasi NDVI Regresi Linier Berganda.....	110
Tabel IV-39 Tabel Standar Deviasi MNDVI Regresi Linier Berganda	110
Tabel IV-40 Tabel Standar Deviasi MNDVI Regresi Linier Berganda Lanjutan.....	111
Tabel IV-41 Tabel Standar Deviasi GNDVI Regresi Linier Berganda.....	111

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kopi merupakan satu di antara dari beragam minuman yang populer di kalangan masyarakat global. Kopi merupakan komoditas perdagangan paling berharga kedua di dunia (Bernardes, Moreira, Adami, Giarolla, & Rudorff, 2012). Kopi memiliki banyak manfaat, seperti menurunkan risiko terkena diabetes tipe 2, memelihara kesehatan otak, mencegah penyakit parkinson, serta memelihara kesehatan lever dan jantung (Agustin, 2021). Terdapat beragam jenis kopi yang ditanam di Indonesia, seperti robusta, liberika, dan juga arabika (Fajri, 2022). Indonesia terdapat dalam urutan kelima dalam penghasil kopi dunia (Sutrisno, 2022). Kopi merupakan komoditas ekspor Indonesia yang cukup penting selain minyak dan gas yang dapat menambah devisa negara sehingga memiliki peran dalam kegiatan perekonomian Indonesia (BPS, 2020). Berlandaskan data yang dikumpulkan dari Badan Pusat Statistik (BPS), besaran ekspor kopi di Indonesia pada saat tahun 2020 ialah senilai US\$ 809,2 juta.

Kebutuhan kopi saat ini setiap tahunnya mengalami peningkatan. Hal ini diperkuat dengan adanya peningkatan kenaikan *coffee shop* di setiap daerah yang mengakibatkan kebutuhan akan kopi meningkat. Terkait naiknya kebutuhan kopi dan agar dapat membantu pemetaan prakiraan jumlah kopi tiap tahunnya, diperlukan *monitoring* secara kontinu. Ekspor kopi Indonesia pun selalu memperlihatkan laju positif dalam beberapa tahun, bahkan selama tahun 2022 ini, Mesir telah membeli 40 ton (dua kontainer) kopi Indonesia dan kemudian membeli lagi sebanyak 10 kontainer per bulan. Menteri Keuangan Indonesia menyebutkan, berdasarkan dari catatan Indonesia *Eximbank Institute*, komoditas kopi pada 2022 memiliki permintaan yang akan terus mengalami peningkatan selaras terhadap meluasnya pasar pada sektor ini secara global. Untuk itu diperlukan adanya manajemen estimasi produktivitas kopi untuk menghitung produktivitas kopi.

Estimasi produktivitas tersebut berfungsi untuk memperkirakan jumlah produksi kopi yang nantinya akan membantu pihak pengelola perkebunan untuk memperkirakan biaya dan pendapatan. Estimasi produktivitas kopi dapat membuat *supply* dan *demand*

stabil, sehingga tidak terjadi kelangkaan. Menurut (Silva, Alves, Silva, & Figueiredo, 2021), estimasi hasil kopi dapat membantu pemerintah dan pembuat kebijakan untuk melindungi pertanian dan perdagangan domestik dengan menawarkan peringatan dini tentang potensi risiko bencana dan dampak kehilangan hasil panen karena peristiwa cuaca buruk (Kouadio, Byrareddy, Sawadogo, & Newlands, 2021). Diperkirakan hasil estimasi produksi kopi Indonesia dari tahun 2020 sampai tahun 2024 mencapai rata-rata 777,73 ribu ton kopi (Pusdatin, 2020).

Pengindraan jauh yaitu ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah dengan jalan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap objek daerah yang dikaji. Keunggulan dari penginderaan jauh antara lain, hasil pengindraan jauh dapat digunakan untuk memetakan daerah yang sangat luas dengan cepat, biaya lebih murah dibanding survei lapangan langsung, dan proses pembuatan peta dengan pengindraan jauh lebih cepat selesai. Secara rutin, data pengindraan jauh telah digunakan untuk memetakan wilayah, meningkatkan prediksi hasil, mengukur produksi, serta menganalisis kualitas (Brunsell, Pontes, & Lamparelli, 2009). Pengindraan jauh dapat dimanfaatkan untuk *monitoring* estimasi produktivitas kopi. Pemanfaatan pengindraan jauh pada tanaman kopi sangat menjanjikan, dikarenakan sulitnya untuk memperoleh data lapangan dalam skala regional, terutama untuk pemetaan lapangan. Pengindraan jauh dapat menjadi alternatif untuk mengevaluasi kematangan tanaman kopi, baik secara satu kali maupun pengamatan multi-temporal selama dua periode waktu atau lebih (Johnson, Herwitz, Lobitz, & Dunagan, 2004).

Salah satu faktor yang digunakan dalam pengindraan jauh untuk mengevaluasi keadaan vegetasi suatu wilayah adalah indeks vegetasi. Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang diterapkan terhadap citra, untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi ataupun aspek yang berkaitan dengan kerapatan, misalnya biomassa, *Leaf Area Index* (LAI), konsentrasi, dan sebagainya (Arnanto, 2013). Pada daratan non-vegetasi, termasuk diantaranya wilayah perairan, pemukiman penduduk, tanah kosong terbuka, dan wilayah dengan kondisi vegetasi yang rusak, tidak akan menunjukkan nilai rasio yang tinggi (minimum). Sebaliknya pada wilayah bervegetasi sangat rapat, dengan kondisi sehat, menunjukkan nilai yang tinggi (maksimum) (Sudiana & Diasmara, 2008). Tujuan dari

indeks vegetasi adalah untuk mendapatkan nilai yang memungkinkan evaluasi kuantitatif dari karakteristik tanaman. Keuntungan dari indeks vegetasi adalah memungkinkan kita untuk mengetahui kekuatan tanaman dan dengan demikian mendeteksi area dengan perkembangan yang lemah. Indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Modified Normalized Difference Vegetation Index* (MNDVI), dan *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI).

NDVI adalah metode baku yang mampu dipakai untuk menyandingkan tingkat kehijauan vegetasi (kandungan klorofil) tumbuhan. Indeks vegetasi turunan dari NDVI yaitu MNDVI dan GNDVI. MNDVI berlaku untuk semua jenis tanaman. Analisis ini memberikan interpretasi yang lebih baik dari nilai NDVI dan menyoroti variabilitas tanaman di seluruh bidang. MNDVI dianggap sebagai sumber informasi yang berharga tentang kondisi tanaman karena dapat mencerminkan kehijauan vegetasi. Sedangkan GNDVI adalah indeks vegetasi yang dikembangkan untuk memperbaiki kekurangan dari NDVI. Dibandingkan dengan indeks NDVI, GNDVI lebih sensitif terhadap konsentrasi klorofil. GNDVI pada dasarnya menukar saluran merah dari NDVI.

Pada penelitian (Nurani, 2015), estimasi produksi kopi dengan citra Landsat 8 menggunakan indeks vegetasi NDVI serta pendekatan nilai spektral yang hasilnya menunjukkan bahwa semakin rapat tajuk maka nilai produksi akan semakin tinggi, sedangkan pada penelitian (Aziz, 2019) estimasi produksi kopi dengan Sentinel-2 menggunakan indeks vegetasi SAVI, NDVI, MSAVI, RDVI, ARVI, SR, IPVI, dan DVI, serta klasifikasi *supervised* yang hasilnya menunjukkan bahwa metode yang paling cocok untuk digunakan sebagai estimasi produksi kopi adalah NDVI dan PVI. Dalam penelitian (Bernardes, Moreira, Adami, Giarolla, & Rudorff, 2012), terdapat permasalahan piksel campuran antara tanaman kopi dan tutupan lahan lainnya karena di perkebunan kopi cukup banyak memiliki tanaman naungan. Untuk mengatasinya pada penelitian tersebut hanya menggunakan piksel yang hanya mewakili tanaman kopi yang homogen.

Pada penelitian (Hunt, et al., 2020), dijelaskan bahwa untuk mengatasi permasalahan piksel campuran, pendekatan sub-piksel spektral lebih baik dalam menangkap heterogenitas daripada pendekatan berbasis piksel. Keanekaragaman dari

tutupan lahan dari Kebun Bangelan memungkinkan untuk terjadinya piksel campuran. Pencampuran dapat terjadi pada piksel dalam berbagai bentuk, antara lain batas antara dua atau lebih tutupan lahan (Sari, Chulafak, Zylshal, & Kushardono, 2017). Maka dari itu dalam penelitian ini untuk membedakan piksel campuran antara tanaman kopi dan tanaman naungan dapat diatasi dengan klasifikasi *Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis* (MESMA) yang dapat mengidentifikasi tutupan lahan hingga sub-piksel. Solusi lain dari adanya piksel campuran adalah menggunakan citra yang memiliki resolusi spasial yang tinggi.

Tanaman kopi biasanya ditanam di lahan kecil yang memiliki kemiringan yang cukup besar, sehingga diperlukan citra resolusi tinggi untuk mengidentifikasi area produksi kopi (Brunsell, Pontes, & Lamparelli, 2009). Penggunaan citra resolusi tinggi untuk identifikasi area tanaman kopi dapat memberikan solusi untuk meningkatkan akurasi dalam pemetaan tanaman kopi (Ramirez, Zullo, Assad, & Pinto, 2006). Oleh karena hal tersebut, riset ini menggunakan SPOT-7 yang merupakan citra beresolusi tinggi. SPOT-7 mempunyai resolusi spasial 1,5 meter pada kanal pankromatik serta 6 meter pada kanal multispektral.

Perkebunan Bangelan ialah satu di antara kebun milik PT Perkebunan Nusantara (PTPN) XII. PTPN XII ini ialah bagian dari Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dengan operasionalisasi bisnis pada sektor perkebunan, pengolahan, serta pemasaran hasil dari perkebunan. Perkebunan ini berlokasi di Desa Bangelan, Kecamatan Wonosari, Kabupaten Malang. Komoditas dari Perkebunan Bangelan yaitu kopi. Jenis kopi yang dikembangkan di Perkebunan Bangelan ini adalah kopi jenis robusta.

Perkiraan estimasi yang dilakukan pemerintah saat ini memperhatikan ketersediaan data dengan menggunakan metode regresi berganda dengan model *time series*. Model uji yang digunakan yaitu Uji Anova. Untuk menguji kelayakan dari model, dilakukan uji MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) untuk mengetahui persentase penyimpangan dari hasil pendugaan. Jika nilai MAPE semakin rendah maka model *time series* yang didapat akan semakin baik. Dari hasil regresi berganda dapat menunjukkan bahwa produktivitas kopi dipengaruhi oleh produktivitas dari tahun sebelumnya. Sedangkan hasil produksi kopi didapat dari perkalian antara luas area yang dapat

menghasilkan kopi dengan produktivitas kopi. Pada perkebunan biasanya memprediksi estimasi produksi kopi dengan taksasi yang merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memperkirakan produksi dari tanaman kopi yang nantinya akan dicapai saat musim panen baik dari bunga maupun buah. Taksasi ini dilakukan dengan menghitung buah per bonggol di setiap pohon dan menggunakan sampel dari pohon dengan kriteria tertentu, seperti berbuah lebat, berbuah sedang, dan berbuah kurang. Menyadari perlunya estimasi pada produktivitas kopi secara efektif, efisien, dan akurat, perlu mencari metode lain untuk melakukan estimasi produksi kopi agar dapat menekan biaya tenaga kerja dan dapat berlangsung secara kontinu.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana ketelitian atau akurasi klasifikasi MESMA dengan menggunakan citra SPOT-7 untuk mengidentifikasi tanaman kopi di Perkebunan Bangelan?
2. Bagaimana hasil estimasi produktivitas kopi di Perkebunan Bangelan dengan memanfaatkan metode MESMA terhadap indeks vegetasi NDVI, MNDVI, dan GNDVI?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan riset ini adalah:

1. Mengetahui ketelitian atau akurasi klasifikasi MESMA dengan menggunakan citra SPOT-7 untuk mengidentifikasi tanaman kopi di Perkebunan Bangelan.
2. Mengetahui hasil estimasi produktivitas kopi di Perkebunan Bangelan dengan memanfaatkan metode MESMA terhadap indeks vegetasi NDVI, MNDVI, dan GNDVI.

Terdapat manfaat yang mampu didapatkan dari hadirnya riset ini ialah demikian:

1. Aspek Keilmuan
Riset ini mampu melengkapi studi pengaplikasian penginderaan jauh dan berperan aktif dalam kajian *monitoring* lahan, khususnya untuk estimasi produktivitas vegetasi.
2. Aspek Rekayasa

Manfaat penelitian ini yaitu melengkapi penelitian yang telah ada sebelumnya terkait *monitoring* lahan dengan menggunakan indeks vegetasi dan dapat digunakan sebagai referensi dalam estimasi produktivitas vegetasi.

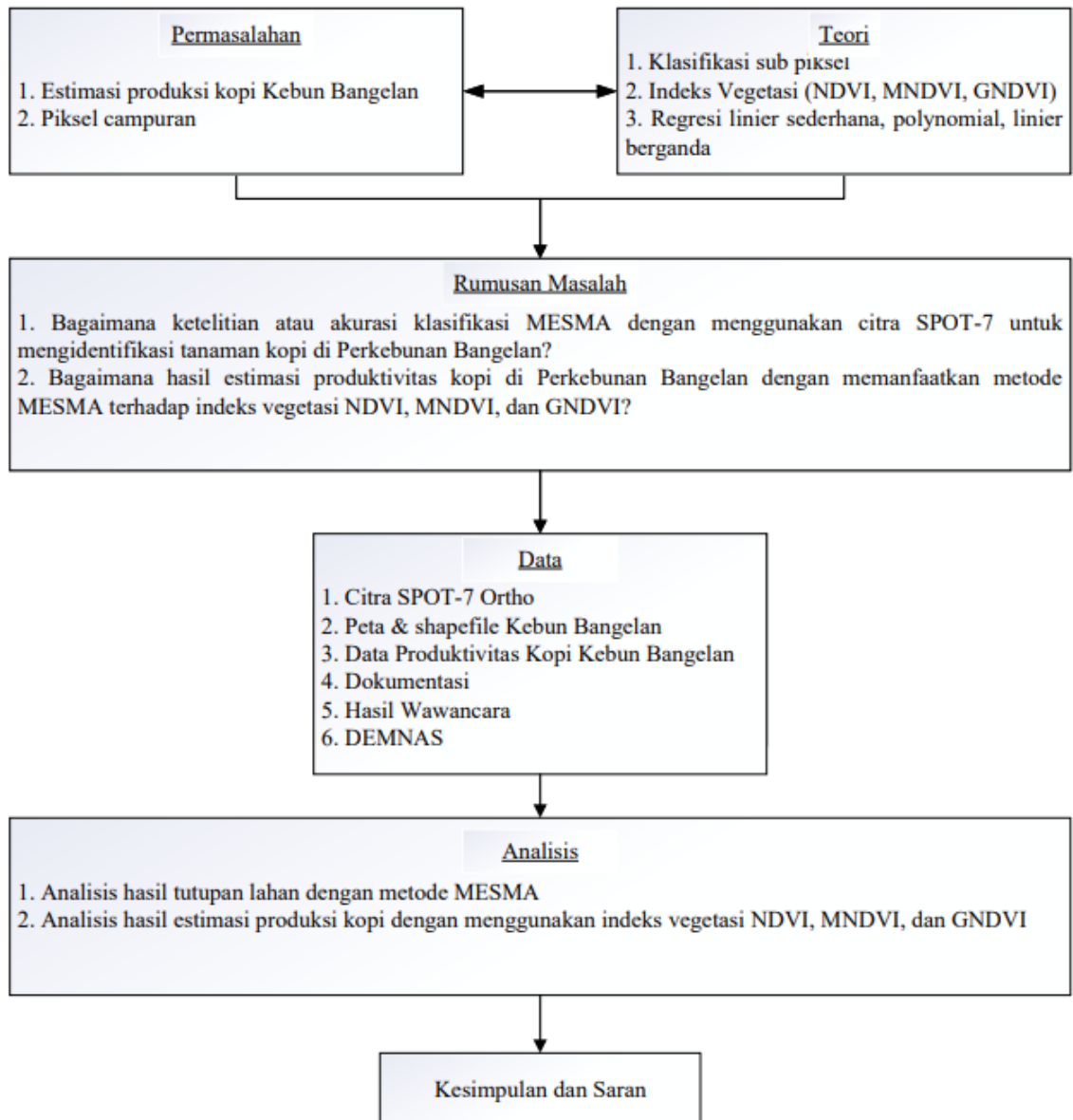
I.4 Batasan Penelitian

Terdapat sejumlah batasan pada riset ini dijabarkan demikian:

1. Wilayah riset berada pada lingkup Perkebunan Bangelan yang berlokasi di Desa Bangelan, Kecamatan Wonosari.
2. Citra satelit pada penelitian ini memakai citra SPOT-7 yang mencakup wilayah kebun kopi Perkebunan Bangelan.
3. Klasifikasi piksel campuran dalam penelitian ini menggunakan metode MESMA.
4. Algoritma indeks vegetasi dalam penelitian ini menggunakan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), MNDVI (*Modified Normalized Difference Vegetation Index*), dan GNDVI (*Green Difference Vegetation Index*).
5. Data produktivitas dari Perkebunan Bangelan pada tahun 2021.
6. Objek dari penelitian ini adalah kopi robusta namun tercampur oleh pohon lamtoro yang mengalami pemangkasan sehingga piksel murni dari hasil klasifikasi MESMA adalah tanaman kopi dan lamtoro.

I.5 Skema Kerangka Berpikir

Berikut adalah skema kerangka berpikir dari penelitian Tugas Akhir ini:



Gambar I-1 Skema Kerangka Berpikir

I.6 Sistematika Penelitian

Adapun kerangka proposal dari Tugas Akhir ini ialah demikian:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan penelitian, serta sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan sejumlah peninjauan yang dipakai selaku landasan dalam melangsungkan riset.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi metodologi dari riset, diawali oleh sejumlah langkah dalam kelangsungan riset, yakni persiapan hingga penyajian data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi keluaran juga penelaahan terkait riset yang sudah selesai dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi sejumlah konklusi yang dapat diperoleh usai dilangsungkannya riset serta penyajian sejumlah anjuran yang diberi oleh penulis guna kepentingan riset berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, S. B., Subarno, T., Sunuddin, A., Aziizah, N. N., & Takwir, A. (2018). Pemanfaatan Citra SPOT-7 Untuk Pemetaan Distribusi Lamun Pada Zona Intertidal dan Pendugaan Kedalaman Perairan Pulau Wawonii. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 4.
- Agustin, d. S. (2021, November 2). *Beragam Manfaat Kopi di Dalam Tiap Seruputnya*. Retrieved from Alodokter: <https://www.alodokter.com/potensi-manfaat-kopi-terkandung-di-tiap-kenikmatan-seruputnya>
- Arnanto, A. (2013). Pemanfaatan Transformation Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Citra Landsat TM untuk Zonasi Vegetasi di Lereng Merapi Bagian Selatan. *Geomedia*, 158.
- Aziz, M. H. (2019). Pemanfaatan Citra Sentinel-2A untuk Estimasi Produksi Tanaman Kopi di Sebagian Wilayah Kabupaten Temanggung. *Fakultas Geografi UGM*, 1-8.
- Azzahra, J. P. (2022). Estimasi Produktivitas Teh di Perkebunan Malabar Berbasis Penginderaan Jauh. *Jurnal Geodesi Undip*, 3.
- Bernardes, T., Moreira, M. A., Adami, M., Giarolla, A., & Rudorff, B. F. (2012). Monitoring Biennial Bearing Effect on Coffee Yield Using MODIS Remote Sensing Imagery. *Journal Remote Sensing*, 1.
- BPS. (2020). *Statistik Kopi Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik/BPS-Statistics Indonesia.
- Brunsell, N. A., Pontes, P. P., & Lamparelli, R. A. (2009). Remotely Sensed Phenology of Coffee and Its Relationship to Yield. *GIScience & Remote Sensing*, 5.
- DaMatta, F. M. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Fields Crops Research*, 2.

- Degerickx, J., Okujeni, A., Iordache, M.-D., Hermy, M., Linden, S. v., & Somers, B. (2017). A Novel Spectral Library Pruning Technique for Spectral Unmixing of Urban Land Cover. *Remote Sensing*, 1.
- Fajri, D. L. (2022, February 9). *9 Jenis Kopi Populer di Indonesia*. Retrieved from Katadata.co.id: <https://katadata.co.id/intan/berita/620367a42faec/9-jenis-kopi-populer-di-indonesia>
- Fernandez-Garcia, V., Marcos, E., Fernandez-Guisuraga, J., Fernandez-Manso, A., Quintano, C., Suarez-Seoane, S., . . . Leonor. (2021). Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (MESMA) Applied to the Study of Habitat Diversity in the Fine-Grained Landscapes of the Cantabrian Mountains. *Remote Sensing*, 6.
- Gessese, A. A., & Melesse, A. M. (2019). *Extreme Hydrology and Climate Variability*.
- Haryanto, B., Basri, H., Thohar, A., Widodo, D., Wibowo, N. S., & Juniawan. (2019). *Pelatihan Budidaya Berkelanjutan (Good Agricultural Practices-GAP) dan Pascapanen (Post-Harvest) Kopi Arabika*. Jakarta: Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia bekerja sama dengan SCOPI, GCP, dan ICCRI.
- Hermann, I., Pimstein, A., Karnieli, A., Cohen, Y., Alchanatis, V., & Bonfil, D. (2011). LAI assessment of wheat and potato crops by VEN μ S and Sentinel-2 bands. *Remote Sensing of Environment*, 9.
- Hulupi, R. (1999). Bahan tanam kopi yang sesuai untuk kondisi agroklimat di Indonesia. In *Warta Puslitkoka* (pp. : 64-81).
- Hunt, D. A., Tabor, K., Hewson, J. H., Wood, M. A., Reymondin, L., Koenig, K., . . . Follet, F. (2020). Review of Remote Sensing Methods to Map Coffee Production Systems. *Journal Remote Sensing*, 9.
- IPB. (2018). *Identifikasi Pemeliharaan Tanaman Kopi Guna Peningkatan Produksi*. Bogor: IPB Press.

- Johnson, L. F., Herwitz, S. R., Lobitz, B. M., & Dunagan, S. E. (2004). Feasibility of Monitoring Coffee Field Ripeness with Airborne Multispectral Imagery. *Information & Electrical Technologies Division of ASAE*, 4.
- Keshava, N. (2003). A Survey of Spectral Unmixing Algorithms. *Lincoln Laboratory Journal*, 1.
- Kouadio, L., Byrareddy, V. M., Sawadogo, A., & Newlands, N. K. (2021). Probabilistic yield forecasting of robusta coffee at the farm scale using agroclimatic and remote sensing derived indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1.
- Lillesand, & Kiefer. (1979). *Pengindraan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2002). Above-Ground Biomass Estimation of Successional and Mature Forests Using TM Images in the Amazon Basin. *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*.
- M, P. P. (2019). *Teknik Analisis Korelasi dan Regresi Ilmu-Ilmu Pertanian*. Yogyakarta: UPY Press.
- MapVision. (n.d.). *SPOT 7 (1.5 meter)*. Retrieved from <https://citrasatelit.wordpress.com/jual-citra-satelit/resolusi-sangat-tinggi-0-5-meter-1-5-meter/spot-7-1-5-meter/>
- Mohd, D. M., Ahmad, S., & Abdullah, A. (2009, January 9). *Agriculture applications of Remote Sensing: paddy yield estimation form Landsat-5 thematic mapper data*. Retrieved from Geospatial World: <https://www.geospatialworld.net/article/agriculture-applications-of-remote-sensing-paddy-yield-estiamtion-form-landsta-5-thematic-mapper-data/>
- Mukhlisin, A., & Soemarno. (2020). Estimasi Kandungan Klorofil Tanaman Kopi Robusta (*Coffea canephora* var. Robusta) Menggunakan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di Bagelan, Wonosari, Malang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya lahan*, 2.

- Nidamanuri, R. R., & Ramiya, A. M. (2015). Spectral identification of materials by reflectance spectral library search. *Geocarto International*, 616.
- Nurani, R. (2015). Estimasi Produksi Tanaman Kopi Berbasis Pengolahan Citra Landsat 8 di Kabupaten Temanggung Jawa Tengah. 1-9.
- Padilah, T. N., & Adam, R. I. (2019). Analisis Regresi Linier Berganda dalam Estimasi Produktivitas Tanaman Padi di Kabupaten Karawang. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika*, 3.
- Prasasli, I., & Sambodo, K. A. (2004). Pengkajian Nilai Indeks Vegetasi Data MODIS dengan Menerapkan Beberapa Algoritma Pengolahan Data Indeks Vegetasi. *Jurnal Pengindraan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 20-34.
- Purohit, S., Uniyal, D., & Saklani, P. (2015). Co-Relation of MNDVI Values, Yield and Soil Texture: Integrating RS, GIS and Land Based Observation. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 1.
- Pusdatin. (2020). *Outlook Kopi*. Retrieved from Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian:
<http://epublikasi.setjen.pertanian.go.id/epublikasi/outlook/2020/Outlook%20Kopi%202020/files/assets/basic-html/page3.html>
- Rajabi, R., & Ghassemian, H. (2015). Sparsity Constrained Graph Regularized NMF for Spectral Unmixing of Hyperspectral Data. *Journal of the Indian Society*, 269-278.
- Ramirez, G. M., Zullo, J. J., Assad, E. D., & Pinto, e. H. (2006). Comparação de dados dos satélites Ikonos-II e Landsat/ETM+. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, 2.
- Roberts, D., Gardner, M., Church, R., Usrin, S., & Scheer, G. (1996). Mapping Chaparral in The Santa Monica Mountains Using Multiple Endmember Spectral Mixture Models. *Remote Sensing of Environment*, 2.
- Sampurno, R. M., & Thoriq, A. (2016). Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) di Kabupaten Sumedang. *Junrla Teknotan*, 7.

- Sari, D. N. (2022). Diponegoro University, Semarang.
- Sari, N. M., Chulafak, G. A., Zylshal, & Kushardono, D. (2017). The Relationship between the Mixed Pixel Spectral Value of Landsat 8 OLI Data and LAPAN Surveillance Aircraft (LSA) Aerial-Photo Data. *Forum Geografi* (p. 85). Indonesian Journal of Spatial and Regional Analysis.
- Shaban, M. A., & Dikshit, O. (2002). Evaluation of the Merging of SPOT Multispectral and Panchromatic Data for Classification of an Urban Environment. *International Journal of Remote Sensing*, 249-262.
- Shabrina, N., Sukmono, A., & Subiyanto, S. (2020). Analisis Identifikasi Fase Tumbuh Padi untuk Estimasi Produksi Padi dengan Algoritma EVI dan NDRE Multitemporal pada Citra Sentinel-2 di Kabupaten Demak. *Jurnal Geodesi Undip*, 3.
- Short, N. M. (1982). *Landsat Tutorial Workbook-Basics of Satellite Remote Sensing*. Washington DC: NASA.
- Silva, P. A., Alves, M. d., Silva, F. M., & Figueiredo, V. C. (2021). Coffee yield estimation by Landsat-8 imagery considering shading effects of planting row's orientation in center pivot. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8.
- Somba, S., Rauf, S., & Aboe, A. F. (2015). Analisis Karakteristik Spasial Kota Pare-Pare Berbasis GIS dan Remote Sensing Menggunakan Citra Landsat 8. *Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar*.
- Sudiana, D., & Diasmara, E. (2008). Analisis Indeks Vegetasi menggunakan Data Satelit NOAA/AVHRR dan TERRA/AQUA-MODIS. *Intelligent Technology and Its Applications* (p. 425). Depok: Optoelectrotechnique and Remote Sensing (OPRES) Research Group.
- Sudjana. (2005). *Metode Statistika*. Bandung: Tarsito.

- Sutrisno, E. (2022, January 18). *Harum Kopi di Tahun 2022*. Retrieved from Portal Informasi Indonesia: <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/3910/harum-kopi-di-tahun-2022>
- Syarifuddin, A. T. (2020). Analisis Pengaruh Kerapatan Tajuk Untuk Estimasi Produksi Kopi Menggunakan Citra Sentinel 2-A (Studi Kasus: Kebun Kopi Di Sebagian Kawasan Hutan Bkph Candiroti Perum Perhutani). 2.
- Tarigan, A. A. (2019). *Pendugaan Karbon di atas Permukaan Tanah Menggunakan Citra Landsat 8 di Hutan Mangrove Percut Sei Tuan*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Tucker, C. J., & W, G. M. (1977). *Leaf optical system modeled as a stochastic process*. Appl Opt.
- Ulumuddin, Y. I., Sulistyawati, E., Hakim, D. M., & Harto, A. B. (2005). Korelasi Stok Karbon dengan Karakteristik Spektral Citra Landsat: Studi Kasus Gunung Papandayan. *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV*, 8.