TUGAS AKHIR – RM 184831

IDENTIFIKASI FASE TANAM PADI DENGAN ALGORITMA *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI) MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 BERBASIS *TIME SERIES* (Studi Kasus: Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur)

RIZKI HARI KURNIAWAN
NRP 03311640000015

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

TUGAS AKHIR – RM 184831

IDENTIFIKASI FASE TANAM PADI DENGAN ALGORITMA *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI) MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 BERBASIS *TIME SERIES* (Studi Kasus: Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur)

RIZKI HARI KURNIAWAN
NRP 03311640000015

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

FINAL PROJECT – RM 184831

RICE GROWTH STAGES MAPPING WITH NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) ALGORITHM USING SENTINEL-2 SATELLITE IMAGE DATA BASED ON TIME SERIES
(Case of Study: Bojonegoro Regency, East Java)

RIZKI HARI KURNIAWAN
NRP 03311640000015

Supervisor
Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

IDENTIFIKASI FASE TANAM PADI DENGAN ALGORITMA *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI) MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 BERBASIS *TIME SERIES*
(Studi Kasus: Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur)

Nama Mahasiswa	**: Rizki Hari Kurniawan**
NRP	**: 03311640000015**
Departemen	**: Teknik Geomatika, FTSPK-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS**

ABSTRAK

Beras sebagai salah satu komoditas pangan pokok yang dikonsumsi oleh sebagian besar penduduk Indonesia. Dari sisi tingkat konsumsi beras, *trend* yang terjadi selalu mengikuti pertumbuhan jumlah penduduk setiap tahun. Kabupaten Bojonegoro Pada tahun 2016, mencapai 1,050,000 ton padi sehingga memperoleh surplus sebesar 750,000 ton padi dari target produksi. Melihat potensi tersebut, maka perlu adanya upaya untuk memantau kestabilan produksi pertanian secara berkala.

Dalam penelitian ini, dilakukan pemantauan fase tanam padi dengan memanfaatkan data penginderaan jauh citra satelit optis Sentinel-2. Salah satu data satelit penginderaan jauh yang memiliki resolusi spasial dan temporal yang memadai adalah Sentinel-2. Untuk melakukan analisis fase tumbuh tanaman padi dapat melalui algoritma indeks vegetasi. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) secara *time series*. NDVI adalah indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman. Hasil dari penelitian Tugas Akhir ini adalah peta klasifikasi fase tanam padi di Kabupaten Bojonegoro yang dilakukan menggunakan metode Klasifikasi Terbimbing. Jenis klasifikasi terbimbing yang digunakan adalah *Maximum Likelihood Classification*.

Dari hasil analisis grafik NDVI *time series*, didapatkan korelasi antara nilai NDVI citra Sentinel-2 dengan fase tanam padi

adalah sebesar 0.896 dengan koefisien determinasi sebesar 0.803 atau 80.34%. Hasil klasifikasi citra Sentinel-2, didapatkan nilai uji akurasi klasifikasi untuk citra tanggal 09 Januari 2019 dengan koefisien Kappa sebesar 0.7824 dan *overall accuracy* sebesar 83.87%.

Kata Kunci: Fase Tanam Padi, NDVI, Sentinel-2, *Time Series*

RICE GROWTH STAGES MAPPING WITH NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) ALGORITHM USING SENTINEL-2 SATELLITE IMAGE BASED ON TIME SERIES
(Case of Study: Bojonegoro Regency, East Java)

Name	**: Rizki Hari Kurniawan**
ID	**: 03311640000015**
Departement	**: Teknik Geomatika, FTSPK-ITS**
Supervisor	**: Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS**

ABSTRACT

Rice as one of the staple food commodities consumed by the majority of the Indonesian population. In terms of the rice consumption level, the trend always follows national population growth every year. In 2016, Bojonegoro Regency reached 1,050,000 tons of rice, hence it obtained a surplus of 750,000 tons of rice from the production target. Considering this potential, it is necessary to have a method to monitor the stability of agricultural production regularly.

In this research, monitoring of the rice growth stages was performed by utilizing remote sensing data of the Sentinel-2 optical satellite imagery. Sentinel-2 is one of the remote sensing satellite data that provides better spatial and temporal resolution than other commercial optical satellites. Analyzing the rice growth stages was performed through the vegetation index algorithm. The algorithm used in this research is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in time series. NDVI is an index that describes greeness levels of a vegetation.

The correlation between NDVI values of Sentinel-2 images and the rice planting phase is 0.896 with a coefficient of determination of 0.803 or 80.34%. The Sentinel-2 image

classification results obtained classification accuracy test values for images on January 9, 2019 with Kappa coefficient of 0.7824 and overall accuracy of 83.87%.
Keywords: NDVI, Rice Growth Stages, Sentinel-2, Time Series

IDENTIFIKASI FASE TANAM PADI DENGAN ALGORITMA *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI) MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 BERBASIS *TIME SERIES*
(Studi Kasus: Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
RIZKI HARI KURNIAWAN
NRP. 03311640000015

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:
Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS ( )
NIP. 19530527 198303 1 001

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA

SURABAYA, JULI 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul "**Identifikasi Fase Tanam Padi dengan Algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) Menggunakan Citra Sentinel-2 Berbasis *Time Series* (Studi Kasus: Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur)**" ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.

Tidak lupa penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan dari pihak yang telah berkontribusi dengan memberikan sumbangan baik secara moral ataupun secara materi. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Kedua Orang Tua penulis, Ayah dan Ibu yang dengan sepenuh hati selalu mendoakan dan mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Danar Guruh Pratomo S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya serta segenap jajarannya yang telah memberikan kemudahan selama mengikuti pendidikan di Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
3. Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS selaku dosen wali serta dosen pembimbing Tugas Akhir ini yang senantiasa memberikan masukan dan bimbingan dari awal masuk perkuliahan hingga selesainya Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen serta karyawan Teknik Geomatika ITS atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama masa perkuliahan dan administrasi.
5. Dinas Pertanian Kabupaten Bojonegoro yang telah memberikan bantuan data.
6. Ibu Lilia Prima Rukmawati dan keluarga yang telah membantu banyak dari segi akomodasi dan transportasi pada saat survei lapangan.

7. Teman-teman G18 Teknik Geomatika ITS atas segala dukungannya.
8. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung hingga terselesainya Tugas Akhir ini.

Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat menambah pengetahuan dan pengalaman bagi para pembaca, untuk kedepannya dapat memperbaiki bentuk maupun isi laporan agar menjadi lebih baik lagi.

Penulis mengharapkan adanya saran sebagai pembelajaran bagi penulis untuk dapat menghasilkan karya ilmiah yang lebih baik lagi. Tidak lupa penulis sampaikan mohon maaf apabila ada kesalahan pada penulisan laporan ini. Demikian ucapan terima kasih ini, semoga laporan Tugas Akhir ini mampu memberi manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
LEMBAR PENGESAHAN xi
KATA PENGANTAR xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Fase Tanam Padi 7
2.2 Penginderaan Jauh 8
2.3 Citra Satelit Sentinel-2 9
2.4 *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) 12
2.5 Koreksi Radiometrik 15
2.6 Prosesor dan Produk Sen2Cor 17
2.7 Uji Korelasi 18
2.8 Klasifikasi Terbimbing 20
2.9 Uji Akurasi Klasifikasi 21
2.10 *Drone/Quadcopter* 23
2.11 Kamera IR (*Infrared*) Survey3 25
2.12 Nilai NDVI dari Kamera IR 27
2.13 GPS (*Global Positioning System*) *Handheld* 29
2.14 Aplikasi Data Penginderaan Jauh di Bidang Pertanian Pada Penelitian Terdahulu 30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 33
3.1 Lokasi Penelitian 33

3.2 Data dan Peralatan 34
3.2.1 Data.....34
3.2.2 Peralatan 35
3.3 Tahap Penelitian.....36
3.4 Pengolahan Data 38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....45
4.1 Koreksi Atmosfir dengan *Tool* Sen2Cor.....45
4.2 Hasil Perhitungan Nilai Indeks Vegetasi 49
4.3 Hasil Pengambilan Sampel 52
4.4 Uji Korelasi NDVI Citra dengan NDVI Kamera IR 64
4.5 Penentuan Fase Tanam Padi.....66
4.6 Klasifikasi Fase Tanam Padi.....69
4.7 Uji Akurasi Klasifikasi Fase Tanam Padi 74
4.8 Analisis Nilai NDVI dengan Produktivitas Padi.....75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 79
5.1 Kesimpulan 79
5.2 Saran 80
DAFTAR PUSTAKA.....83
LAMPIRAN 91
BIODATA PENULIS.....121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanaman Padi 8
Gambar 2. 2 Fase Pertumbuhan Padi 14
Gambar 2. 3 Hubungan NDVI dengan Umur Tanaman Padi 15
Gambar 2. 4 Pengaruh Atmoser 17
Gambar 2. 5 Produk S-2 Level 2-A 18
Gambar 2. 6 Orientasi Pergerakan pada Quadcopter 23
Gambar 2. 7 DJI Phantom 4 Pro 25
Gambar 2. 8 Kamera IR Survey3 26
Gambar 2. 9 (a) hasil orthomosaic kamera IR Survey3 dengan *filter* RGN. (b) hasil NDVI dari kamera IR Survey3 dengan rentang -0.1 (hitam) sampai 0.6 (putih) 28
Gambar 2. 10 Rentang nilai NDVI pada perkebunan wilow (*willow crops*) di East Ava, New York 29
Gambar 2. 11 Rentang nilai NDVI pada perkebunan wilow (*willow crops*) di Solvay, New York 29
Gambar 2. 12 GPS *handheld* Garmin 30
Gambar 3. 1 Peta Tentatif Wilayah Analisa Penelitian 34
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahap Penelitian 36
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data 39
Gambar 3. 4 Hasil NDVI dari Kamera IR 41
Gambar 4. 1 Perbandingan hasil koreksi atmosfer pada Sentinel-2 (kiri) Level 1C dan (kanan) Level 2A pada tanggal 09 Januari 2019 46
Gambar 4. 2 Histogram pada Sentinel-2 (kiri) Level 1C dan (kanan) Level 2A pada tanggal 09 Januari 2019 46
Gambar 4. 3 Hasil NDVI pada citra Sentinel-2 Level 2A pada tanggal 09 Januari 2019 50
Gambar 4. 4 Lokasi Titik Sampel 53
Gambar 4. 5 Grafik Regresi NDVI Sentinel-2 Tanggal 09 Januari 2019 dengan NDVI Kamera IR 65
Gambar 4. 6 Grafik NDVI *Time Series* Fase Tanam Padi 66
Gambar 4. 7 Grafik Regresi Nilai NDVI dengan Fase Tanam

Padi 68
Gambar 4. 8 Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 09 Januari 2019.....70
Gambar 4. 9 Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 23 Februari 2019.....71
Gambar 4. 10 Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 05 Maret 2019.....72
Gambar 4. 11 Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 30 Maret 2019.....73
Gambar 4. 12 Grafik Korelasi Produksi Padi dengan Nilai NDVI Per Kecamatan 77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kanal Citra Satelit Sentinel-2 10
Tabel 2. 2 Spesifikasi Satelit Sentinel-2 11
Tabel 2. 3 Tipe Produk Sentinel-2 12
Tabel 2. 4 Rentang Nilai NDVI Fase Tanam Padi 14
Tabel 2. 5 Interval Korelasi (r) 20
Tabel 2. 6 *Confusion Matrix* 22
Tabel 2. 7 Spesifikasi DJI Phantom 4 Pro 24
Tabel 2. 8 Spesifikasi Kamera IR Survey3 26
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Statistik Sebelum dan Sesudah Koreksi Sen2Cor pada Kanal 4 47
Tabel 4. 2 Nilai Piksel Hasil Sen2Cor Untuk Semua Tanggal Citra Pada Masing-Masing *Scene* 48
Tabel 4. 3 Nilai Statistik pada citra NDVI tanggal 09 Januari 2019 50
Tabel 4. 4 Rentang Nilai NDVI pada Semua Tanggal Perekaman Citra Sentinel-2 51
Tabel 4. 5 Hasil Foto Lokasi Sampel Format *Red*, *Green*, dan NIR dari Kamera IR 54
Tabel 4. 6 NDVI Kamera IR dan Sebaran Titik Sampel 57
Tabel 4. 7 Statistik Nilai NDVI dari Kamera IR 60
Tabel 4. 8 Fase Tanam Aktual di Titik Sampel 61
Tabel 4. 9 Tabel Korelasi Nilai NDVI Titik Sampel dari Citra Sentinel-2 dan NDVI Titik Sampel dari Kamera IR 64
Tabel 4. 10 Tabel Rentang Nilai NDVI Citra Sentinel-2 dan Fase Tanam Padi 69
Tabel 4. 11 Uji Akurasi Klasifikasi Padi Tanggal 09 Januari 2019 74
Tabel 4. 12 Tabel Nilai NDVI dan Produksi Padi per Kecamatan 75

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemerintah Indonesia telah menetapkan arah kebijakan pangan nasional, yaitu ketahanan pangan yang mandiri dan berdaulat. Berbagai program telah digulirkan untuk mencapai swasembada pangan. Pemerintah juga telah menetapkan 7 (tujuh) komoditas pangan sebagai pangan pokok dan strategis yang mendapat prioritas utama dalam pencapaian swasembada pangan. Ketujuh komoditas pangan tersebut adalah padi/beras, jagung, kedelai, gula, daging sapi, bawang merah dan cabai merah. Beras merupakan salah satu produk serealia dunia yang penting di samping terigu. Beras sebagai salah satu komoditas pangan pokok yang dikonsumsi oleh sebagian besar penduduk Indonesia (Ariani 2004).

Hingga saat ini dan beberapa tahun mendatang, beras tetap menjadi sumber utama gizi dan energi bagi lebih dari 90% penduduk Indonesia. Dari sisi tingkat konsumsi beras, *trend* yang terjadi selalu mengikuti pertumbuhan jumlah penduduk setiap tahun. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan penduduk Indonesia tahun 2018 diproyeksikan mencapai 265 juta jiwa atau meningkat 12.8 juta jiwa dibanding jumlah penduduk tahun 2014 yang berjumlah 252.2 juta jiwa. Jika dirata-rata, jumlah penduduk bertambah 3.2 juta jiwa atau tumbuh 1.27 persen per tahun (Kementerian Pertanian 2018). Pada tahun 2017 konsumsi beras adalah sebesar 114.6 kg per kapita per tahun. Walaupun program diversifikasi pangan sudah sejak lama dicanangkan, namun belum terlihat indikasi penurunan konsumsi beras, bahkan cenderung meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2005). Berkaitan dengan

peningkatan konsumsi, maka perlu dilakukan peningkatan produksi supaya kebutuhan dapat dipenuhi.

Kabupaten Bojonegoro sebagai penghasil padi andalan di Provinsi Jawa Timur, memiliki visi mewujudkan mimpi menjadi lumbung pangan nasional. Dikutip dari beritabojonegoro.com, menurut Bupati Suyoto, pada tahun 2016, produktivitas padi di Kabupaten Bojonegoro mencapai 1,050,000 ton padi sehingga memperoleh surplus sebesar 750,000 ton padi dari target produksi. Menurut data Badan Pusat Statistik, produksi padi Kabupaten Bojonegoro pada tahun 2017 mencapai angka 5.40 ton/Ha. Melihat potensi tersebut, maka perlu adanya upaya untuk memantau kestabilan produksi pertanian secara berkala.

Salah satu metode pemantauan tanaman padi atau tanaman semusim lainnya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan data satelit penginderaan jauh yang memiliki resolusi temporal tinggi dan resolusi spasial yang memadai. Penggunaan citra resolusi tinggi dapat menjelaskan informasi yang lebih detail untuk melihat suatu tutupan lahan salah satunya lahan persawahan dimana masing-masing lahan memiliki fase pertumbuhan yang berbeda-beda.

Salah satu data satelit penginderaan jauh yang memiliki resolusi spasial dan temporal yang memadai adalah Sentinel-2. Sentinel-2 adalah salah satu satelit penginderaan jauh dengan sensor pasif buatan Eropa. Sentinel-2 merupakan satelit multispektral yang memiliki 13 kanal (*band*), 4 kanal beresolusi spasial 10 m, 6 kanal beresolusi spasial 20 m, dan 3 kanal beresolusi spasial 60 m (Kawamuna, dkk 2017).

Untuk melakukan analisis fase tumbuh tanaman padi dapat melalui algoritma indeks vegetasi. Indeks vegetasi merupakan perubahan nilai spektral pada citra multispektral yang menunjukkan aspek kerapatan vegetasi, sehingga dapat digunakan untuk melakukan analisis fase tanaman.

Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). NDVI merupakan indeks kehijauan vegetasi yang ditentukan dari aktivitas fotosintesis vegetasi. Menurut Hafizh (2013), NDVI memiliki koefisien korelasi yang lebih baik dengan data spektral di lapangan (*field spectometer*) dibandingkan dengan algoritma indeks vegetasi lainnya, seperti EVI (*Enhanced Vegetation Index*). Lebih lanjut, EVI dikembangkan sebagai indeks vegetasi alternatif untuk mengatasi beberapa keterbatasan NDVI (Maksum 2015). Sehingga NDVI dipilih sebagai algoritma indeks vegetasi pada penelitian ini.

Menurut Dirgahayu (2005) model pertumbuhan tanaman padi berbentuk lonceng simetris. Untuk dapat membedakan fase antara fase vegetatif dan generatif setidaknya diperlukan dua citra yang berbeda tanggal akuisisinya (t dan t-1). Mengekstrak nilai NDVI multitemporal akan memunculkan pola fase tanam padi yang divisualisasikan pada grafik *time series* NDVI. Maka dari itu, pada penelitian ini sangat diperlukan grafik *time series* NDVI untuk mengetahui fase tanam padi secara lebih akurat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi fase tanam padi di Kabupaten Bojonegoro sehingga diketahui pola fase pertumbuhan padi beserta klasifikasinya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk mengetahui waktu panen di tiap petak sawah ataupun digunakan untuk mengestimasi produktivitas padi di Kabupaten Bojonegoro pada penelitian selanjutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang telah dijabarkan, maka perumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana menganalisis nilai grafik *time*

series NDVI citra satelit optis Sentinel-2 untuk mengetahui fase tanam padi?

2. Bagaimana klasifikasi fase tanam padi di Kabupaten Bojonegoro yang dihasilkan menggunakan metode klasifikasi terbimbing?
3. Bagaimana sebaran spasial fase tanam padi dari hasil klasifikasi fase tanam padi di Kabupaten Bojonegoro?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi kasus penelitian ini adalah Kabupaten Bojonegoro
2. Daerah yang digunakan sebagai validasi meliputi meliputi Kecamatan 5 (lima) kecamatan di Kabupaten Bojonegoro yang meliputi Kecamatan Kalitidu, Dander, Kapas, Balen, dan Sumberrejo
3. Area sampel yang digunakan adalah wilayah sawah irigasi
4. Algoritma yang digunakan adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)
5. Penelitian ini menggunakan data spasial citra satelit optis Sentinel-2 Level 1C perekaman bulan Desember 2018 hingga Mei 2019, data lahan baku sawah Kabupaten Bojonegoro, data titik sampel lahan sawah, data spektral titik sampel, data produktivitas panen padi Kabupaten Bojonegoro Tahun 2019, dan data fase tanam padi di titik sampel

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis nilai grafik *time series* NDVI citra satelit optis Sentinel-2 terhadap fase tanam padi
2. Melakukan klasifikasi fase tanam padi berdasarkan nilai grafik *time series* NDVI
3. Memetakan sebaran spasial fase tanam padi di Kabupaten Bojonegoro

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang pola fase tanam padi menggunakan nilai grafik *time series* NDVI
2. Memberikan informasi fase tanam padi berupa Peta Kalsifikasi Fase Tanam Padi di Kabupaten Bojonegoro
3. Mengetahui sebaran spasial fase tanam padi di Kabupaten Bojonegoro

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fase Tanam Padi

Padi (*Oryza sativa,sp*) merupakan salah satu tanaman budidaya terpenting dalam peradaban. Tanaman padi tersebar luas di seluruh dunia dan tumbuh di hampir semua bagian dunia. Bagi masyarakat Indonesia, padi termasuk tanaman pangan yang sangat penting. Sebagian besar masyarakat Indonesia memanfaatkan padi sebagai makanan pokok selain sumber makanan yang lain seperti sagu dan jenis umbi-umbian lainnya (HKTI 2017 dalam Aji 2017).

Tanaman padi memiliki beberapa fase selama masa pertumbuhan yang akan berpengaruh terhadap hasil pengolahan dengan metode NDVI maupun EVI. Menurut Noer (2008) ada 4 fase pertumbuhan padi yaitu:

1. Fase awal pertumbuhan padi dimana lahan sawah di dominasi oleh air karena penggenangan (fase tanam).
2. Fase pertumbuhan vegetatif, ditandai dengan semakin lebatnya daun tanaman padi yang menutupi seluruh lahan sawah. Pada fase ini penutupan lahan didominasi warna hijau.
3. Fase pertumbuhan generatif, kondisi lahan sawah yang semula di dominasi daun berwarna hijau akan digantikan dengan butir-butir padi yang berwarna kuning.
4. Fase bera dimana lahan menjadi bera selama jangka waktu tertentu.

Gambar 2. 1 Tanaman Padi (Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian 2006)

2.2 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk mendapatkan informasi dari suatu objek, daerah, atau fenomena (geofisik) melalui analisis data, dimana dalam mendapatkan data ini tidak secara kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji. Data yang didapatkan ini biasanya dalam bentuk citra satelit yang kemudian diolah sesuai dengan kebutuhan sampai akhirnya tercipta informasi yang diinginkan (Lillesand dan Kiefer 2004).

Menurut Landgrebe, penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah atau gejala dengan cara menganalisis data yang didapat dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap objek, daerah atau gejala yang dikaji (Landgrebe 2003).

Informasi diperoleh dengan cara deteksi dan pengukuran berbagai perubahan yang terdapat pada lahan di mana objek tersebut berada. Proses tersebut dilakukan dengan cara perabaan atau perekaman energi yang dipantulkan atau dipancarkan, memproses, menganalisa, dan menerapkan informasi tersebut. Informasi secara potensial tertangkap pada suatu ketinggian melalui energi yang terbangun dari permukaan bumi, yang secara detil didapatkan dari variasi-variasi spasial, spektral dan temporal lahan tersebut (Landgrebe 2003).

Dalam penginderaan jauh, perekaman objek dapat dilakukan karena adanya tenaga elektromagnetik yang dipantulkan ke bumi dan ditangkap oleh sensor yang disimpan oleh wahana. Karena itu untuk memperoleh data penginderaan jauh diperlukan komponen-komponen penginderaan jauh, diantaranya: tenaga, objek, sensor, *detector*, dan wahana. Komponen tersebut saling mendukung dalam perekaman objek, karena setiap komponen harus saling berinteraksi (Sutanto 1992).

Data penginderaan jauh adalah berupa citra. Citra penginderaan jauh memiliki beberapa bentuk yaitu LIDAR ataupun citra satelit. Data penginderaan jauh tersebut adalah hasil rekaman objek muka bumi oleh sensor. Data penginderaan jauh ini dapat memberikan banyak informasi setelah dilakukan proses interpretasi terhadap data tersebut (Landgrebe 2003).

2.3 Citra Satelit Sentinel-2

Sentinel-2 merupakan satelit observasi bumi dengan *polar-orbiting* milik *European Space Agency* **(**ESA**)** untuk pemantauan tanah dan layanan darurat, yang dirancang dengan jangkauan dan kinerja spektral yang disempurnakan dibandingkan dengan misi citra satelit serupa sebelumnya seperti misi SPOT dan Landsat. Sentinel-2 menawarkan data satelit dengan cakupan permukaan darat global yang sistematis, resolusi spasial dan spektral yang tinggi, dan bidang pandang yang luas yaitu 290 km. Instrumen multi spektral bertujuan untuk mengukur cahaya yang dipantulkan pada 13 spektral kanal yang terdiri dari gelombang tampak sampai *Short Wave Infra-Red* (SWIR). Dibandingkan dengan sistem landsat 8 (OLI), Sentinel-2 mencakup delapan kanal yang serupa, namun tidak dilengkapi kanal *thermal* (Main-Knorn dkk 2015).

Kedua satelit, baik Sentinel-2A maupun Sentinel-2B, yang masuk ke dalam seri Satelit Sentinel-2, mempunyai

waktu revisit selama 5 hari (ESA 2015). Jika Satelit Sentinel-1A menghasilkan citra radar, maka Satelit Sentinel-2A menghasilkan citra optik multispektral yang mempunyai 13 kanal (kanal-kanal yang masuk ke spektrum *visible*, *near infrared*, *shortwave infrared*). Karakteristik dari 13 kanal tersebut akan dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kanal Citra Satelit Sentinel-2 (ESA 2018)

Kanal	***Wavelength* (nm)**	***Central Wavelength* (nm)**	**Resolusi Spasial (m)**
Kanal 1 – *Coastal Aerosol*	421 – 457	443	60
Kanal 2 - *Blue*	439 – 535	494	10
Kanal 3 - *Green*	537 – 582	560	10
Kanal 4 - *Red*	646 – 685	665	10
Kanal 5 – *Vegetation Red Edge*	694 – 714	704	20
Kanal 6 – *Vegetation Red Edge*	731 – 749	740	20
Kanal 7 – *Vegetation Red Edge*	768 – 796	781	20
Kanal 8 – *NIR*	767 – 908	834	10
Kanal 8A – *Vegetation Red Edge*	848 – 881	864	20

Kanal	***Wavelength* (nm)**	***Central Wavelength* (nm)**	**Resolusi Spasial (m)**
Kanal 9 – *Water Vapour*	931 – 958	944	60
Kanal 10 – *SWIR-Cirrus*	1338 – 1414	1375	60
Kanal 11 – *SWIR*	1539 – 1681	1612	20
Kanal 12 – *SWIR*	2072 – 2312	2194	20

Tabel 2. 2 Spesifikasi Satelit Sentinel-2 (ESA 2015)

Sentinel-2	
Instrumen citra	Multispektral
Diluncurkan pada	S-2A: 23 Juni 2015 S-2B: 07 Maret 2017
Lebar *swath* (km)	290
Altitude (km)	786130
Orbit satelit	*Sun-synchronous*
Resolusi spektral	13
Resolusi spasial (m)	10, 20, 60
Resolusi radiometrik	12 bit
Resolusi temporal (hari)	Untuk setiap satelit adalah 10 hari dan jika gabungan antar 2 satelit (S-2A dan S-2B) adalah 5 hari

Untuk citra satelit optis Sentinel-2 level 1C, koreksi yang diperlukan hanyalah koreksi radiometrik, terutama mengubah nilai TOA reflektan menjadi BOA reflektan dengan *toolbox* Sen2Cor.

Tabel 2. 3 Tipe Produk Sentinel-2

Nama	**Deskripsi**	**Distribusi**	**Ukuran Data**
Level-1C	Berupa reflektan sensor (*Top-of-Atmosphere Reflectances*)	Secara sistematis dan disebarkan melalui daring	~600 MB (tiap 100km x 100 km)
Level-2A	Berupa reflektan permukaan (*Bottom-of-Atmosphere Reflectances*)	Sistematis dan pengolahan dilakukan oleh pengguna (dengan *Toolbox* Sen2Cor)	~800 MB (tiap 100km x 100 km)

Sumber: ESA 2018

2.4 ***Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)**

Indeks vegetasi adalah besaran nilai kehijauan vegetasi yang diperoleh dari pengolahan sinyal digital data nilai kecerahan (*brightness*) beberapa kanal data sensor satelit. Untuk pemantauan vegetasi, dilakukan proses pembandingan antara tingat kecerahan kanal cahaya (*Red*) dan kanal inframerah dekat (*near infrared*). Gelombang vegetasi diperoleh dari energi yang dipancarkan oleh vegetasi pada citra penginderaan jauh untuk menunjukkan ukuran kehidupan dan jumlah dari suatu tanaman. Nilai indeks vegetasi yang tinggi memberikan gambaran bahwa di area yang diamati terdapat vegetasi yang mempunyai tingkat kehijauan tinggi. Sebaliknya nilai indeks vegetasi yang rendah merupakan indikator bahwa lahan yang menjadi objek

pemantauan mempunyai tingkat kehijauan rendah atau lahan dengan vegetasi sangat jarang (Huda 2018).

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman. NDVI merupakan kombinasi matematis antara kanal merah dan kanal NIR yang telah lama digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi. NDVI dapat digunakan sebagai indikator biomassa dan tingkat kehijauan (*greeness*) relatif (Faizal 2005).

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

Keterangan:

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*
NIR : Kanal Inframerah Dekat
Red : Kanal Merah

NDVI mempunyai rentang nilai antara -1 hingga 1. Nilai NDVI yang bernilai negatif menunjukkan objek non-vegetasi atau objek yang vegetasinya rendah seperti badan air, bebatuan dan tanah (Danoedoro 1996).

Terdapat hubungan antara tingkat kehijauan tanaman (*greenness*) dengan produktivitas tanaman padi. Fase pertumbuhan tanaman yang diduga mempunyai hubungan erat dengan produktivitas tanaman padi adalah tanaman pada fase awal generatif (*pinnacle initiation*) yaitu pada saat tanaman padi sedang produksi (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian 2006).

Menurut Hafizh (2013) kaitan NDVI dengan fase pertumbuhan padi adalah terkait dengan perentangan nilai NDVI terhadap setiap fase pertumbuhan padi tersebut. Setiap fase pertumbuhan padi memiliki perentangan nilai NDVI masing-masing. Nilai perentangan NDVI pada fase pertumbuhan padi dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 4 Rentang Nilai NDVI Fase Tanam Padi (Hafizh 2013)

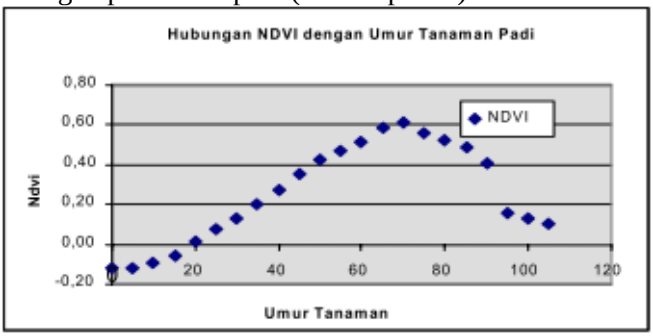
No.	Fase Tumbuh	Nilai NDVI	Umur Tanam (MST)
1	Air	< 0.137	< 3
2	Vegetatif	0.137 – 0.736	3 – 6
3	Generatif	0.736 – 0.167	6 – 14
4	Bera	0.138 – 0.265	14 – 17

Tanaman padi biasanya memerlukan waktu 3-4 bulan untuk tumbuh mulai dari pembenihan sampai dengan panen tergantung dari jenis varietas padi dan kondisi tempat tanaman padi tumbuh. Klasifikasi fase tanam padi pada penelitian Hafizh (2013) mempunyai karakteristik yang dapat dijelaskan pada gambar 2.2.

Tahap Pertumbuhan	Tahapan	Keterangan
Vegetatif	1. ***Seedling*** yaitu penanaman bibit pada lahan yang sudah diolah dan disiapkan.	
	2. ***Tillering*** yaitu bibit padi mulai tumbuh, daun mulai bertambah banyak.	
	3. ***Stem elongation*** yaitu padi mulai tumbuh tinggi dan daun mulai menutup.	
Reproduktif	4. ***Panicle, initiation booting***, yaitu padi mulai bunting.	
	5. ***Heading*** yaitu malai mulai keluar.	
	6. ***Flowering*** yaitu malai berkembang dan keluar bunga.	
Ripening / Pemasakan	7. ***Milk grain*** yaitu butiran padi mulai berisi biasanya masih berbentuk seperti susu.	
	8. ***Dough grain*** yaitu biji padi mulai mengeras dan daun masih berwarna hijau.	
	9. ***Mature grain*** yaitu tahap pemasakan biji padi sampai akhirnya siap dipanen.	

Gambar 2. 2 Fase Pertumbuhan Padi (Sudarsono 2016)

Nilai NDVI berpengaruh terhadap usia padi. Pada awal musim tanam, nlai NDVI bernilai minimum dan dikategorikan pada kerapatan badan air atau non vegetasi. Seiring pertumbuhannya, nilainya akan naik hingga mencapai maksimum saat padi dalam fase bunting (generatif). Pada saat fase bunting nilai NDVI maksimum dikarenakan jumlah klorofil pada jaringan mesofil daun dalam kondisi maksimum (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian 2006). Jumlah klorofil sangat berpengaruh pada tingkat kehijauan pada tanaman. Jumlah klorofil akan mencapai titik maksimum di usia bunting juga dipengaruhi kebutuhan nutrisi dan air saat awal musim tanam pada tanaman. Pada gambar 2.4 grafik akan mengalami penurunan seiring mendekati tingkat kematangan pada bulir padi (musim panen).



Gambar 2. 3 Hubungan NDVI dengan Umur Tanaman Padi (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian 2006)

2.5 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik adalah koreksi yang diberikan pada sebuah citra akibat adanya kesalahan karena kondisi atmosfer, kesalahan karena sistem optik ataupun kesalahan sudut elevasi matahari. Kesalahan ini merupakan kesalahan yang berupa pergeseran nilai atau derajat keabuan elemen gambar (*pixel*) pada citra agar mendekati harga yang seharusnya. Dengan kata lain, koreksi radiometrik dilakukan agar infomasi yang

terdapat dalam data citra dapat dengan jelas dibaca dan diinterpretasikan. Terdapat 2 (dua) proses koreksi radiometrik, yaitu kalibrasi radiometrik (mengubah *Digital Number* (DN) menjadi ToA *Reflectance / Top of Atmosphere Reflectance* atau reflektan sensor) dan koreksi atmosfer (mengubah ToA menjadi BoA *Reflectance / Bottom of Atmosphere Reflectance* atau reflektan permukaan) (Jaelani 2016).

a. Kalibrasi radiometrik

Dalam pengolahan data citra satelit, kalibrasi radiometrik merupakan langkah pertama yang harus dilakukan terlebih dahulu. Kalibrasi radiometrik merupakan proses merubah atau mengkonversi nilai data citra asli hasil unduhan dari DN (nilai digital) ke nilai radian atau reflektan ToA (*Top of Atmospheric*) menggunakan parameter yang tersedia di metadata. Adapun tujuan utama dari kalibrasi radiometrik ialah untuk mengubah data pada citra yang (pada umumnya) disimpan dalam bentuk *Digital Number* (DN) menjadi *radiance* dan/atau *reflectance*, bisa juga ke *brightness temperature* (untuk kanal *Thermal Infra Red*). Terkait dengan kalibrasi radiometrik, ada istilah yang perlu diperhatikan yakni Resolusi Radiometrik (*radiometric resolution*). Metode dari kalibrasi radiometrik yang sering digunakan adalah menggunakan *Gain-Offset* dan *Max-Min* (Jaelani 2016).

b. Koreksi Atmosfer

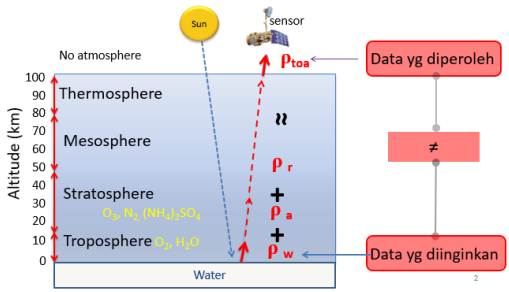
Koreksi Atmosfer adalah proses yang diperlukan untuk menghilangkan pengaruh atmosfer pada data penginderaan jauh yang ikut serta menghamburkan sinyal sebelum direkam

oleh sensor penginderaan jauh (pasif) (Jaelani 2016).

Ekadinata dkk. (2008) dalam Fuazi (2015) berpendapat bahwa koreksi atmosfer merupakan salah satu algoritma koreksi radiometrik yang relatif baru. Koreksi ini dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai parameter atmosfer dalam proses koreksi, termasuk faktor musim dan kondisi iklim di lokasi perekaman citra (misalnya tropis, sub-tropis, dan lainnya). Kelebihannya ada pada kemampuannya untuk memperbaiki gangguan atmosfer seperti kabut tipis, asap, dan lain-lain.

Pengaruh atmosfer (*noise*) menurut Jaelani (2016) ini secara umum dibagi menjadi dua yakni pengaruh yang disebabkan oleh:

- Molekul, disebut sebagai *rayleigh scattering*.
- Partikel, disebut sebagai *aerosol scattering*.

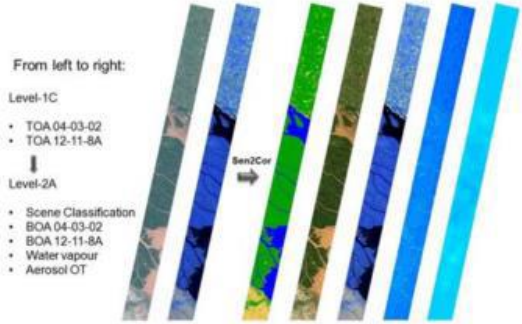


Gambar 2. 4 Pengaruh Atmoser (Jaelani 2016)

2.6 Prosesor dan Produk Sen2Cor

Sen2Cor merupakan *toolbox* yang dikeluarkan ESA atau *European Space Agency* khusus untuk mengoreksi nilai dari

citra satelit Sentinel-2. Sen2Cor adalah prosesor yang digunakan dalam pemrosesan dan pemformatan untuk menjadikan Sentinel-2 Level-1C menjadi Sentinel-2 Level-2A. Prosesor Sen2Cor melakukan tugas koreksi atmosfer, *Cloud Screening* dan *Scene Classification* (SC) dari data masukan Sentinel-2 Level-1C. *Output* Level-2A dari Sen2Cor adalah gambar reflektansi tereduksi *Bottom-of-Atmosphere* (BOA) yang telah dikoreksi, peta *Aerosol Optical Thickness* (AOT), peta *Water Vapor* (WV), peta *Scene Classification*, dan *Cloud and Snow probabilistic mask* (indikator mutu). Format produk hasil proses Sen2Cor adalah setara dengan produk Level-1C, yaitu JPEG 2000, dengan 3 resolusi yang berbeda yaitu 60, 20 dan 10 m. Versi Sen2Cor terbaru adalah Sen2Cor 2.5.5 dimana bisa diunduh pada http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/ (Main-Knorn dkk 2015).



Gambar 2. 5 Produk S-2 Level 2-A (Main-Knorn dkk 2015)

2.7 Uji Korelasi

Korelasi adalah istilah statistik yang menyatakan derajat hubungan *linear* antara dua variabel atau lebih, yang ditemukan oleh Karl Pearson pada awal 1900 (Soekirman 2014). Oleh sebab itu terkenal dengan sebutan Korelasi *Pearson Product Moment* (PPM). Korelasi *Pearson Product*

Moment (PPM) sering disingkat Korelasi merupakan salah satu teknik analisis statistik yang paling banyak digunakan oleh para peneliti. Karena peneliti umumnya tertarik terhadap peristiwa-peristiwa yang terjadi dan mencoba untuk menghubungkannya (Soekirman, 2014). Besarnya angka korelasi disebut koefisien korelasi dinyatakan dengan lambang r. Hubungan antara dua variabel di dalam teknik korelasi bukanlah dalam arti hubungan sebab akibat (timbal balik), melainkan hanya merupakan hubungan searah saja. Akibatnya, dalam korelasi dikenal penyebab dan akibatnya. Data penyebab atau yang mempengaruhi disebut variabel bebas (*independent*) dan data akibat atau yang dipengaruhi disebut variabel terikat (*dependent*). Variabel bebas (*independent*) dilambangkan dengan huruf X atau X_1, X_2, X_3 ... Xn (tergantung banyaknya variabel bebas). Variabel terikat (*dependent*) dilambangkan dengan huruf Y (Soekirman 2014).

$$r_{xy} = \frac{n\Sigma x_i y_i - (\Sigma x_i)(\Sigma y_i)}{\sqrt{(n\Sigma x_i^2 - (\Sigma x_i)^2) - (n\Sigma y_i^2 - (\Sigma y_i)^2)}} \quad (2.2)$$

Dimana:

r_{xy} = korelasi antara variabel X dan variabel Y

x_i= nilai X ke i

y_i= nilai Y ke i

n= banyaknya nilai

Apabila nilai r = +1, berarti ada korelasi positif sempurna antara variabel x dan variabel y. Sebaliknya, apabila nilai r = -1, berarti korelasi negatif sempurna antara variabel x dan variabel y. Sedangkan apabila r = 0, berarti tidak ada korelasi antara dua variabel. Semakin mendekati 1, maka korelasi semakin kuat sedangkan semakin mendekati nol maka korelasi semakin rendah. Sedangkan tanda koefisien korelasi menunjukkan arah hubungan. Tanda (+) menunjukkan hubungan yang searah, sehingga apabila kenaikan di dalam suatu variabel diikuti dengan kenaikan di

dalam variabel lain, maka dapat dikatakan bahwa kedua variabel tersebut mempunyai korelasi yang positif. Sedangkan tanda (-) menunjukkan hubungan yang berkebalikan. Berkebalikan artinya semakin meningkat nilai suatu variabel maka variabel lainnya semakin menurun. Hubungan antar interval koefisien korelasi ditunjukkan pada tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 5 Interval Korelasi (r) (Sugiyono 2008)

Interval Koefisien Korelasi (r)	**Tingkat Hubungan Korelasi**
0.000 – 0.199	Sangat Rendah
0.200 – 0.339	Rendah
0.400 – 0.599	Sedang
0.600 – 0.799	Kuat
0.800 – 1.000	Sangat Kuat

2.8 Klasifikasi Terbimbing

Klasifikasi citra merupakan suatu proses pengelompokan seluruh piksel pada suatu citra ke dalam kelompok sehingga dapat diinterpretasikan sebagai suatu *property* yang spesifik. Suatu citra dapat diklasifikasikan ke dalam *cluster-cluster* tertentu berdasarkan kemiripan antar citranya secara visual, yaitu karakteristik warna (Chein-I Chang dan Ren 2000).

Klasifikasi adalah proses pencarian sekumpulan model atau fungsi yang menggambarkan dan membedakan kelas data dengan tujuan agar model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kelas dari suatu objek yang belum diketahui kelasnya (Sutan 2008).

Klasifikasi citra menurut Lillesand dan Kiefer (2004), dibagi ke dalam dua klasifikasi yaitu klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dan klasifikasi tidak terbimbing

(*unsupervised classification*). Menurut Lillesand and Kiefer (2004), analisis citra terbimbing merupakan proses pemilihan kategori informasi atau kelas yang diinginkan dan kemudian memilih daerah sampel yang mewakili tiap kategori. klasifikasi terbimbing membutuhkan pengetahuan tentang kelas kelas (objek-objek) apa saja yang terdapat dalam target serta lokasinya.

Jenis klasifikasi terbimbing yang digunakan pada penelitian ini adalah klasifikasi *Maximum Likelihood*. Klasifikasi *Maximum Likelihood* merupakan klasifikasi yang berpedoman pada nilai piksel yang sudah dikategorikan objeknya atau dibuat dalam training sampel untuk masing-masing objek penutup lahan. Pemilihan *training sampel* pada jenis klasifikasi ini haruslah baik dan teliti. Pemilihan *training sampel* yang kurang baik dapat menghasilkan klasifikasi yang kurang optimal sehingga akurasi yang diperoleh akan rendah. Dengan demikian diperlukan analisis secara statistik atau uji akurasi dari *training sampel* tersebut (Marini, dkk 2014).

2.9 Uji Akurasi Klasifikasi

Uji akurasi klasifikasi bertujuan untuk mendapatkan tingkat kepercayaan dari klasifikasi citra yang telah dihasilkan. Salah satu cara umum untuk menggambarkan tingkat atau besar akurasi dari suatu klasifikasi adalah dengan menggunakan matriks kesalahan (*error matrix*) atau disebut juga dengan istilah *confusion matrix*.

Tabel 2. 6 *Confusion Matrix*

	Actual Values		
Predicted Values		+	-
	+	a	b
	-	c	d

Sumber: USGS 2005

Keterangan:

a = berapa banyak klasifikasi yang disetujui dengan nilai yang diamati

b = berapa kali sebuah titik yang diklasifikasi sebagai X saat hasil pengamatan bukan X

c = berapa kali sebuah titik tidak diklasifikasikan sebagai X saat hasil pengamatan adalah X

d = berapa kali sebuah titik tidak diklasifikasikan sebagai X saat hasil pengamatan bukan X

Tahapan uji akurasi klasifikasi dilakukan dengan metode koefisien Kappa. Koefisien Kappa didasarkan atas konsistensi penilaian dengan mempertimbangkan semua aspek yaitu akurasi pembuat (*poducer's accuracy / omission error*) dan akurasi pengguna (*user's accuracy / commission error*) yang diperoleh dari matriks kesalahan atau confusion matrix. Nilai koefisien Kappa mempunyai rentang 0 hingga 1. Dalam proses klasifikasi tutupan lahan, nilai uji akurasi dianggap benar apabila memiliki nilai *Overall Accuracy* sebesar di atas 75% (LAPAN 2015). Secara matematis perhitungan akurasi Kappa adalah sebagai berikut:

$$Kappa_{(k)} = \frac{N\sum_i^r X_{ii} - \sum_i^r X_{i+}X_{+1}}{N^2 - \sum_i^r X_{i+}X_{+1}} \times 100\% \qquad (2.3)$$

Dimana:

N = Banyaknya piksel dalam contoh

X = Nilai diagonal dari matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i
Xii = Jumlah piksel dalam baris ke-i
Xi+ = Jumlah pixel dalam kolom ke-i

2.10 ***Drone/Quadcopter***

Menurut Kusuma (2012), *drone* adalah sebuah konfigurasi empat buah motor (*quadcopter*) pada sebuah kerangka berbentuk menyilang. Pada masing-masing ujung kerangka terdapat motor yang terpasang dengan baling-baling untuk membuat aliran udara yang menghasilkan tekanan ke arah bawah sehingga timbul gaya angkat pada *drone*. *Drone* berjenis *quadcopter* memiliki empat pergerakan yaitu *roll* (gerakan searah sumbu y), *pitch* (gerakan searah sumbu x), *gaz* (gerakan ke atas dan ke bawah searah sumbu z), serta *yaw* (gerakan berputar ke kiri dan ke kanan yang berorientasi pada sumbu z).

Gambar 2. 6 Orientasi Pergerakan pada Quadcopter (Hadi 2018)

Drone Phantom 4 Pro merupakan *drone* yang diproduksi oleh DJI. Phantom 4 Pro memiliki sistem keamanan yang lebih baik dan sensor ultrasonik jika dibandingkan dengan seri Phantom sebelumnya (Madsen *et al*. 2017). Spesifikasi Phantom 4 Pro disajikan pada tabel 2.7 berikut.

Tabel 2. 7 Spesifikasi DJI Phantom 4 Pro (DJI 2020)

Keterangan	**Spesifikasi**
Battery (*Battery* & *Propellers*)	1388 g
Diaginal Size (*Propellers Excluded*)	350 mm
Max Ascent Speed	S-mode: 6 m/s P-mode: 5 m/s
Max Descent Speed	S-mode: 4 m/s P-mode: 3 m/s
Max Speed	S-mode: 45 mph (72 kph) A-mode: 36 mph (58 kph) P-mode: 31 mph (50 kph)
Max Tilt Angle	S-mode: 42° A-mode: 35° P-mode: 25°
Max Angular Speed	S-mode: 250°/s A-mode: 150°/s
Max Service Ceiling Above Sea Level	19685 feet (6000 m)
Max Wind Speed Resistance	10 m/s
Max Flight Time	Approx. 30 minutes
Operating Temperature Range	32° to 104°F (0° to 40°C)
Satellite Positioning Systems	GPS/GLONASS

Keterangan	Spesifikasi
Hover Accuracy Range	Vertical: ±0.1 m (with Vision Positioning) ±0.5 m (with GPS Positioning) Horizontal: ±0.3 m (with Vision Positioning) ±1.5 m (with GPS Positioning)

Gambar 2. 7 DJI Phantom 4 Pro (DJI 2020)

2.11 Kamera IR (*Infrared*) Survey3

Kamera IR yang menjawab kebutuhan tersedianya sensor foto udara dan penelitian di bidang penginderaan jauh antara lain kamera Survey1, Survey2, dan Survey3. Survey3 dirilis ke pasar pada tahun 2017 dengan menambahkan lebih banyak opsi lensa dan *filter* sehingga dapat menangkap lebih banyak data spektral. Salah satu *filter* dari kamera Survey3 yang banyak dimanfaatkan untuk kegiatan penelitian penginderaan jauh adalah model RGN (*Red*+*Green*+NIR). RGN memanfaatkan gelombang merah (*Red*), hijau (*Green*)

dan inframerah dekat (*Near Infrared*) dengan panjang gelombang masing-masing 660nm, 550nm, dan 850nm. Kombinasi tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghitung nilai indeks vegetasi seperti *Normalized Difference Vegetation Indeks* (NDVI) (Mapir 2020).

Gambar 2. 8 Kamera IR Survey3 (Mapir 2020)

Tabel 2. 8 Spesifikasi Kamera IR Survey3 (Mapir 2020)

Spesifikasi Mapir Survey3 W	
Resolusi	12 MegaPixel (4,000 x 3,000 px)
Fokus lensa	87° HFOV (19mm) f/2.8 *Aperture*, -1% *Extreme Low Distortion* (*Non-Fisheye*) *Glass Lens*
Filter	*Visible Light* (RGB): 375nm - 650nm OCN (*Orange*+*Cyan*+NIR): 490nm/615nm/808nm RGN (*Red*+*Green*+NIR): 550nm/660nm/850nm NGB (NIR+*Green*+*Blue*): 475nm/550nm/850nm *Red-Edge* (RE): 725nm *Near Infrared* (NIR): 850nm

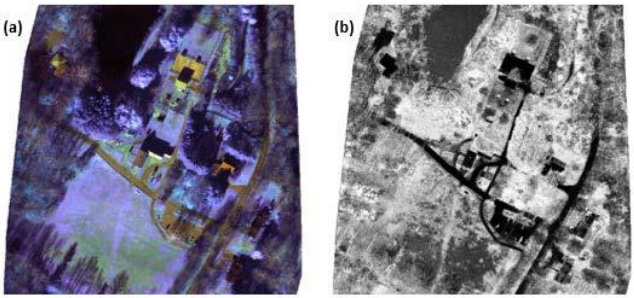
Spesifikasi Mapir Survey3 W	
Ground Sample Distance (GSD)	5.5 cm/px (2.17in/px) pada ketinggian 120 m (~400 ft) AGL
Sensor	Sony Exmor R IMX117 12MP (Bayer RGB)

2.12 Nilai NDVI dari Kamera IR

Schultz (2017) pada penelitiannya melakukan analisis nilai indeks vegetasi, yaitu *Nomalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang didapatkan dari kamera Mapir. Wahana yang digunakan adalah DJI Phantom 4 Pro. Kamera IR yang digunakan memiliki *filter* RGN (*Red-Green-Near Infrared*).

Kamera IR Survey3 dipasangkan ke wahana DJI Phantom 4 Pro dan diterbangkan di Brooksvale Park, Hamden, Connecticut pada tanggal 29 November 2017. Survey3 diprogram untuk mengambil gambar pada interval 2 detik, kecepatan terbang *drone* sebesar 12.2 mph pada ketinggian 109.423 m (359 ft). Gambar yang dihasilkan mempunyai resolusi spasial (*ground sampling distance*) sebesar 2.7 cm/piksel. Gambar yang didapat dikalibrasi melalui target kalibrasi tanah. Pada gambar 2.9(a), kanal NIR (*Near Infrared*) mempunyai warna biru. Banyak warna biru yang muncul pada gambar karena adanya vegetasi di lokasi pengambilan yang sangat reflektif terhadap panjang gelombang NIR. NDVI dihitung berdasarkan kombinasi dari kanal merah (*Red*) dan NIR, menghasilkan gambar seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9(b). Didapatkan rentang nilai NDVI untuk beberapa tutupan lahan, antara lain (Schultz 2017):

- Vegetasi hijau : 0.4 – 0.55
- Rumput dan tajuk coklat : 0.15 – 0.25
- Jalan dan bangunan : -0.1 – 0.1



Gambar 2. 9 (a) hasil orthomosaic kamera IR Survey3 dengan *filter* RGN. (b) hasil NDVI dari kamera IR Survey3 dengan rentang -0.1 (hitam) sampai 0.6 (putih) (Schultz 2017)

O'Keefe (2018) pada penelitiannya menggunakan kamera IR Survey2 untuk memetakan kesehatan vegetasi menggunakan NDVI pada area kebun willow (*willow crops*) di daerah Cape Vincent, East Ava, dan Solvay, New York, Amerika Serikat. Didapatkan nilai NDVI dari kamera IR Survey2 pada masing-masing lokasi penelitian dengan rentang 0.059 – 0.501 di East Ava dan 0.0 – 0.624 di Solvay (O'Keefe 2018).

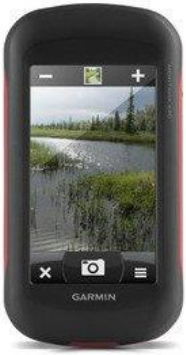
Gambar 2. 10 Rentang nilai NDVI pada perkebunan wilow (*willow crops*) di East Ava, New York (O'Keefe 2018)

Gambar 2. 11 Rentang nilai NDVI pada perkebunan wilow (*willow crops*) di Solvay, New York (O'Keefe 2018)

2.13 GPS (*Global Positioning System*) *Handheld*

Untuk mendapatkan lokasi titik sampel, digunakan GPS (*Global Positioning System*) tipe navigasi dengan merek Garmin. GPS *handheld* Garmin memiliki akurasi 5-10 meter

tergantung dari informasi satelit yang ditangkap oleh *receiver*. Dalam kondisi yang kurang optimal, tingkat akurasi Garmin dapat mencapai 15 meter (Garmin 2020).



Gambar 2. 12 GPS *handheld* Garmin (Garmin 2020)

2.14 Aplikasi Data Penginderaan Jauh di Bidang Pertanian Pada Penelitian Terdahulu

Studi menggunakan citra satelit untuk memantau pertumbuhan tanaman padi telah dilakukan oleh banyak peneliti. Sukojo *et al*., (2019) menggunakan algoritma NDVI citra satelit optis Sentinel-2A untuk menganalisis fase tanam padi di Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur berdasarkan varietasnya. Nurwatik (2015) melakukan identifikasi 9 fase pertumbuhan padi menggunakan algoritma indeks vegetasi NDVI, SAVI, dan MSAVI. Dari identifikasi tersebut didapatkan bahwa NDVI memiliki korelasi terbaik dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.840. Huamin et al., (2009) menggunakan citra MODIS untuk melihat dinamika musiman indeks vegetasi dan karakteristik fenologi gandum dan jagung di China. Sudarsono (2016) menggunakan beberapa algoritma indeks vegetasi antara lain: *Normalized Difference Vegetation*

Index (NDVI), *Enhanced Vegetation Index* (EVI), *Land Surface Water Index* (LSWI), dan *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) untuk menganalisis fase tanam padi di Kabupaten Kendal dan didapatkan kesimpulan bahwa algoritma NDVI memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan algoritma indeks vegetasi lainnya dengan koefisien determinasi (R^2) NDVI sebesar 0,868. NDVI merupakan indeks yang didapatkan dengan memanfaatkan kanal merah dan inframerah dekat. EVI memanfaatkan kanal yang sama dengan NDVI, hanya saja terdapat beberapa faktor yang dimasukkan pada formulanya antara lain faktor kalibrasi tanah dan faktor untuk mengatasi aerosol. SAVI memanfaatkan kanal yang sama dengan NDVI hanya saja terdapat fakto kalibrasi tanah yang dimasukkan dalam perhitungan (Huete, 1997 dalam Sudarsono, 2016). Sedangkan LSWI memanfaatkan kanal inframerah dekat dan inframerah tengah (Gao, 1996 dalam Sudarsono, 2016).

Mostafa *et al*., (2014) yang memetakan areal tanaman padi di Bangladesh menggunakan NDVI enam belas harian MODIS. Sementara Dao (2015) menggunakan citra Landsat-8 OLI dan MODIS untuk memperkirakan daerah genangan dan lahan sawah di Kamboja. Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan citra resolusi global dan rendah seperti NOAA, AVHRR dan MODIS untuk memantau sawah (Xiao *et al*., 2005). Namun, penggunaan citra satelit resolusi spasial moderat dan global telah dibatasi terutama di lahan sawah yang kecil/sempit, karena ada banyak jenis tutupan lahan dalam satu piksel. Hal ini akan mengurangi penilaian akurasi (Strahler *et al*., 2006). Hafizh (2013) menyimpulkan bahwa data EVI dari MODIS level 1B mempunyai korelasi yang baik 0,879 dengan data pengukuran spektrometer dan dapat digunakan menentukan umur tanaman padi secara global.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

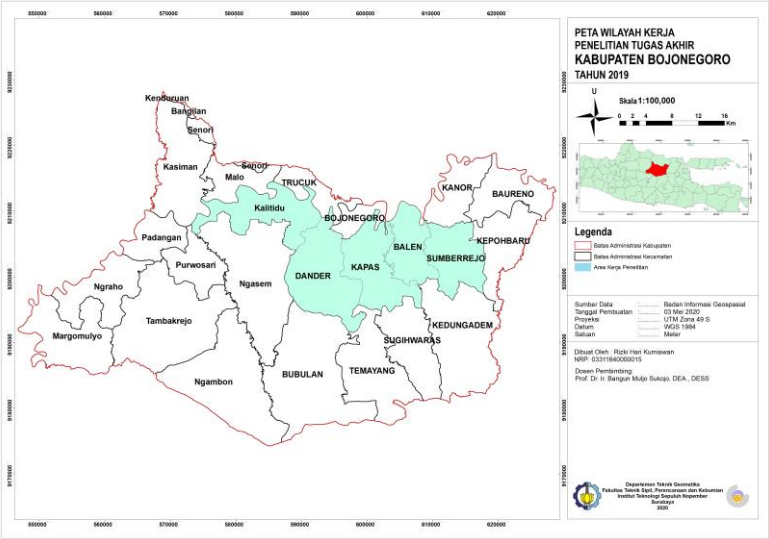
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Bojonegoro Provinsi Jawa Timur. Secara geografis, Kabupaten Bojonegoro berada pada posisi 6°59’ - 7°37’ Lintang Selatan dan 112°9’ - 112°25’ Bujur Timur. Kabupaten Bojonegoro memiliki luas wilayah mencapai 230.706 Ha dengan batas-batas wilayah sebagai berikut:

- Sebelah Utara : Kabupaten Tuban
- Sebelah Timur : Kabupaten Lamongan
- Sebelah Selatan : Kabupaten Madiun, Nganjuk dan Jombang
- Sebelah Barat : Kabupaten Ngawi dan Blora (Jawa Tengah)

Daerah yang digunakan sebagai validasi nilai indeks vegetasi meliputi Kecamatan 5 (lima) kecamatan di Kabupaten Bojonegoro yang meliputi Kecamatan Kalitidu, Dander, Kapas, Balen, dan Sumberrejo. Peta wilayah analisa penelitian tugas akhir ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Peta Wilayah Analisa Penelitian (Olahan Peneliti 2020)

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Pada penelitian ini, data yang dibutuhkan antara lain:

1. Citra satelit optis Sentinel-2 Level 1C Kabupaten Bojonegoro bulan Desember 2018 hingga Mei 2019 yang didapatkan dari *website* resmi *The United States Geological Survey* (USGS)
2. Data Lapangan meliputi Koordinat Titik Sampel, Fase Tanam Padi di Titik Sampel, dan Data Spektral Titik Sampel (NDVI) dari Kamera IR
3. Data Produktivitas Padi Kabupaten Bojonegoro Tahun 2019 yang didapatkan

melalui Dinas Pertanian Kabupaten Bojonegoro

4. Peta Batas Administrasi Kabupaten Bojonegoro Skala 1:25000 yang didapatkan dari BIG
5. Peta Batas Administrasi Kecamatan di Kabupaten Bojonegoro Skala 1:25000 yang didapatkan dari BIG
6. Peta Lahan Baku Sawah di Kabupaten Bojonegoro Skala 1:25000 yang didapatkan dari BIG

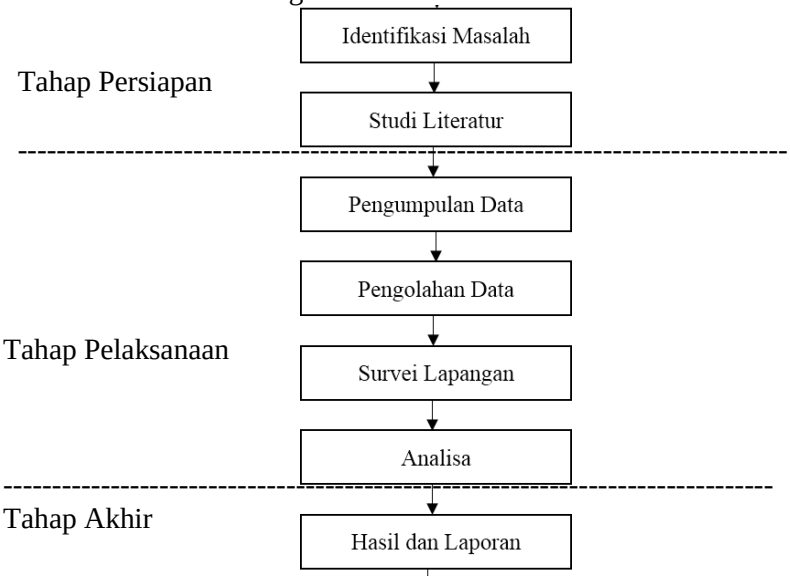
3.2.2 Peralatan

Pada penelitian ini peralatan yang dibutuhkan antara lain:

a. Perangkat Keras
   - Laptop Toshiba Satellite Radius E45DW; AMD FX-8800P Radeon R7, 12 Compute Cores 4C+8G 2.10 GHz; RAM 8 GB
   - Kamera IR Mapir Survey3
   - *Drone* DJI Phantom 4 Pro
   - GPS *Handheld* dengan akurasi 5-10 m
b. Perangkat Lunak
   - Microsoft Office 365
   - SNAP Desktop
   - Perangkat Lunak Pengolahan SIG
   - Perangkat Lunak Pengolah Foto Udara
   - Mapir Camera Control

3.3 Tahap Penelitian

Tahapan yang akan dilaksanakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahap Penelitian

Penjelasan Diagram Alir Tahap Penelitian

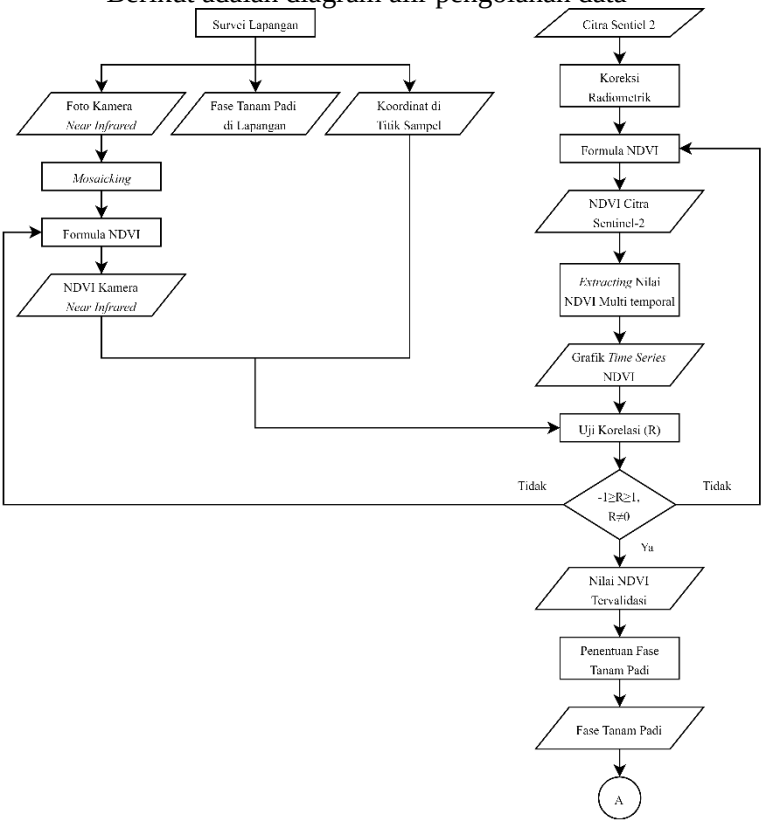
1. Tahap Persiapan
   - Identifikasi Masalah
     Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan fase tanam padi dengan menganalisis nilai grafik *time series* NDVI
   - Studi Literatur
     Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan referensi mengenai hal-hal yang berhubugan dengan penelitian ini untuk menunjang jalannya penelitian

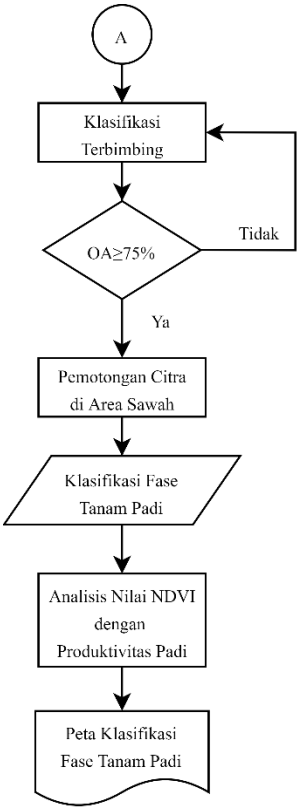
2. Tahap Pelaksanaan
    - Pengumpulan Data
      Data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini antara lain data spasial citra satelit optis Sentinel-2 Level 1C perekaman bulan Desember 2018 hingga Mei 2019, data lahan baku sawah Kabupaten Bojonegoro, data titik sampel lahan sawah, data spektral titik sampel, data produktivitas panen padi Kabupaten Bojonegoro Tahun 2019 dan data fase tanam padi di titik sampel
    - Tahap Pengolahan Data
      Pada tahapan ini dilakukan pengolahan dari data yang telah didapat di lapangan dan data penunjang lainnya. Tahap pengolahan data, lebih lanjut dijelaskan pada Gambar 3.3
    - Survei Lapangan
      Survei lapangan dilakukan untuk mendapatkan data aktual fase tanam padi, nilai spektral di lapangan dan lokasi titik sampel
    - Analisa
      Dari pengolahan data dilakukan analisa untuk mendapatkan nilai korelasi antara data NDVI citra satelit dengan data NDVI di lapangan, menganalisis nilai grafik *time series* NDVI untuk mendapatkan fase tanam padi, dan melakukan klasifikasi fase tanam padi
3. Tahap Akhir
    - Hasil dan Laporan
      Penyusunan laporan merupakan tahap terakhir dari penelitian ini agar hasil

penelitian ini bisa bermanfaat. Penyusunan laporan dilakukan sesuai dengan sistematika yang telah ditentukan.

3.4 Pengolahan Data

Berikut adalah diagram alir pengolahan data





Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data

Penjelasan Diagram Alir Pengolahan Data

1. Koreksi Radiometrik

   Koreksi dilakukan untuk memperbaiki kualitas citra dan konversi *Digital Number* (DN) ke reflektan permukaan (*surface reflectance*) yang akan digunakan dalam pemrosesan data selanjutnya.

2. Formula NDVI

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis fase padi menggunakan data citra satelit optis Sentinel-2 dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). NDVI merupakan metode standar dalam membandingkan tingkat kehijauan vegetasi pada data citra satelit. Perhitungan NDVI bertujuan untuk mengetahui fase tanam padi pada citra satelit yang diolah dan rentang nilai NDVI pada tiap fase.

3. *Extract* Nilai NDVI Citra Multitemporal

Proses *extracting* nilai NDVI multitemporal bertujuan untuk mengetahui pola fase tanam padi secara keseluruhan. Model pertumbuhan tanaman padi berbentuk lonceng simetris. Untuk dapat membedakan fase antara fase vegetatif dan generatif setidaknya diperlukan dua citra yang berbeda tanggal akuisisinya (t dan t-1). *Extracting* nilai NDVI multitemporal akan memunculkan pola fase tanam padi yang divisualisasikan pada grafik *time series* NDVI.

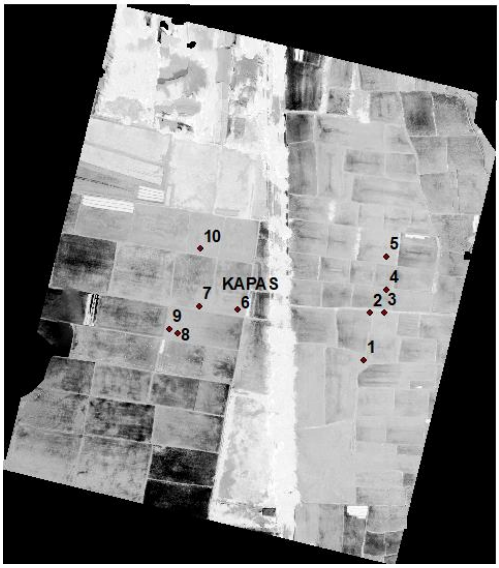
4. Penentuan Fase Tanam Padi

Penentuan fase tanam padi dilakukan dengan melihat pola grafik *time series* NDVI. Grafik *time series* NDVI menyatakan dinamika NDVI sesuai rentang waktu tertentu, sehingga dapat diketahui fase tanam padi untuk setiap tanggal akuisisi citra.

5. Survei lapangan

Kegiatan survei lapangan bertujuan untuk mendapatkan koordinat titik sampel, mengetahui fase tanam padi di titik sampel dan mendapatkan

nilai spektral (NDVI) di lapangan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan kamera IR yang dipasangkan pada wahana *drone*. Hasil pengolahan foto dari kamera IR berupa indeks vegetasi (NDVI) di lapangan saat dilakukan pengambilan data. Pengambilan koordinat dilakukan dengan bantuan alat GPS *Handheld*. Titik sampel yang diambil hanya yang berada di daerah persawahan sehingga dapat dibedakan dengan tutupan lahan non-sawah. Parameter yang diutamakan adalah mendapatkan sampel untuk semua fase tanam padi. Fase tanam padi di titik sampel didapatkan dengan melakukan wawancara pada petani setempat terkait umur padi di titik sampel sehingga dapat diketahui fase tanam padi di titik sampel.



Gambar 3. 4 Hasil NDVI dari Kamera IR

6. Pengolahan Foto dari Kamera IR

Pada saat akan dilakukan pengambilan foto dengan menggunakan wahana *drone*, kotak kalibrasi (*calibration box*) yang merupakan satu bagian dari kamera IR harus ikut terpotret ketika *drone* baru saja lepas landas. Hal ini bertujuan untuk mengkalibrasi nilai piksel dari foto sesuai dengan kondisi pada saat dilakukan pemotretan. Setelah foto terkalibrasi, kemudian dilakukan penggabungan (*mosaicking*) dengan perangkat lunak pengolah foto udara. Hasil foto yang telah tergabung dengan format warna RGN selanjutnya diolah menggunakan algoritma NDVI untuk mengetahui nilai NDVI nya sehingga dapat dikorelasikan dengan nilai NDVI dari citra Sentinel-2.

7. Uji Korelasi

Analisis regresi linear nilai NDVI citra dengan nilai NDVI yang didapatkan dari survei lapangan untuk mengetahui hubungan antara kedua data tersebut. Besarnya pengaruh NDVI citra terhadap NDVI di lapangan diinterpretasikan dari nilai R^2 (koefisien determinasi) dan R (koefisien korelasi).

8. Klasifikasi Fase Tanam Padi

Pada tahap ini, dilakukan klasifikasi fase tanam padi pada citra satelit dengan menggunakan metode *Supervised Classification* (Klasifikasi Terbimbing) sesuai dengan hasil fase tanam padi berdasarkan rentang nilai NDVI yang telah dikorelasikan dengan nilai NDVI dan fase tanam padi di lapangan. Jenis klasifikasi terbimbing yang

digunakan adalah *Maximum Likelihood Classification*.

9. Uji Akurasi

Hasil klasifikasi perlu dilakukan pengujian agar menghasilkan data yang dapat diterima dengan tingkat ketelitian (akurasi) tertentu. Suatu klasifikasi dapat dilihat tingkat akurasinya menggunakan matriks kesalahan (*confussion matrix*). Matriks ini dapat menunjukkan ketelitian dari suatu kelas klasifikasi yang diperoleh dari perbandingan jumlah piksel yang benar (sesuai) dengan *training area* dan total jumlah piksel pada *training area* suatu kelas klasifikasi dalam bentuk matriks pada seluruh kelas yang ada. Hasil dari uji akurasi ini dinyatakan dengan nilai *Overall Accuracy* dan Koefisien Kappa. Nilai uji akurasi dianggap benar apabila memiliki nilai *Overall Accuracy* sebesar di atas 75%.

10. Analisis Nilai NDVI dengan Produktivitas Padi

Dilakukan analisis untuk mengetahui hubungan antara nilai NDVI citra Sentinel-2 dengan data produktivitas padi Kabupaten Bojonegoro Tahun 2019. Data produktivitas padi didapatkan dari Dinas Pertanian Kabupaten Bojonegoro. Titik sampel sawah yang diambil nilai NDVInya adalah sawah yang berada pada fase generatif. Hal ini dikarenakan pada saat fase generatif, padi telah berbulir dan biasanya siap dilakukan perhitungan ubinan agar dapat diestimasi tingkat produktivitasnya.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

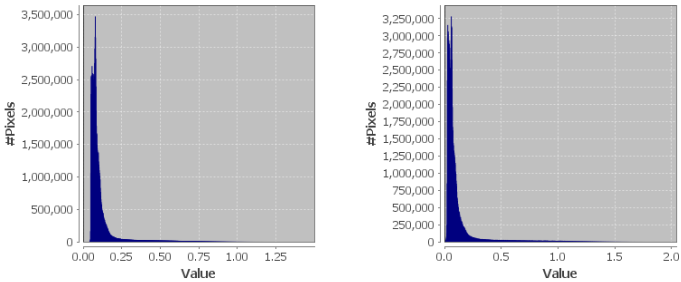
4.1 Koreksi Atmosfir dengan *Tool* Sen2Cor

Sensor satelit penginderaan jauh memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dipantulkan/dipancarkan dari permukaan bumi untuk menangkap kenampakan permukaan bumi menjadi data citra. Gelombang elektromagnetik yang dipantulkan melewati lapisan atmosfer sebelum akhirnya direkam oleh sensor. Partikel-partikel yang ada di atmosfer akan mengganggu informasi yang dibawa dari pantulan gelombang elektromagnetik tersebut. Atas dasar ini, sebelum dilakukan analisa terhadap citra satelit, diperlukan suatu proses koreksi, yaitu koreksi atmosfer.

Untuk citra satelit Sentinel-2, koreksi atmosfer dilakukan menggunakan *tool* Sen2Cor yang merupakan *toolbox* yang disediakan oleh ESA (*European Space Agency*) pada perangkat lunak penginderaan jauh SNAP (*Sentinel Application Platform*). Dengan melakukan koreksi atmosfer ini, data citra satelit Sentinel-2 Level 1C yang masih berupa reflektan sensor (*Top-Of-Atmosphere*, TOA) diubah menjadi Sentinel-2 Level 2A berupa reflektan permukaan atau *surface reflektance* (*Bottom-Of-Atmosphere*, BOA). Pada gambar 4.1 berikut menunjukkan perbandingan tampilan citra satelit Sentinel-2 sebelum dan sesudah dilakukan koreksi atmosfer.

Gambar 4. 1 Perbandingan hasil koreksi atmosfer pada Sentinel-2 (kiri) Level 1C dan (kanan) Level 2A pada tanggal 09 Januari 2019 (Olahan Sen2Cor 2020)

Adapun perbedaan histogram antara citra Sentinel-2 Level 1C dan Level 2A dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 Histogram pada Sentinel-2 (kiri) Level 1C dan (kanan) Level 2A pada tanggal 09 Januari 2019 (Olahan Sen2Cor 2020)

Berdasarkan Gambar 4.1, secara visual citra yang telah dikoreksi menghasilkan warna yang lebih bersih dan tajam. Angka reflektan setelah dilakukan proses koreksi atmosfer dengan *toolbox* Sen2Cor memiliki nilai minimum yang lebih

rendah dari angka reflektan sebelum dilakukan proses koreksi. Hal ini terjadi karena adanya pengurangan terhadap nilai reflektan sensor dari bias-bias yang terjadi akibat gelombang elektromagnetik yang melewati lapisan atmosfer sebelum sampai ke sensor. Perbandingan nilai reflektan ditampilkan pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Statistik Sebelum dan Sesudah Koreksi Sen2Cor pada Kanal 4

Variabel	B4 (L1C)	B4 (L2A)
#Pixels total	117465843	117406468
Minimum	0.015	0
Maximum	1.429	1.944
Mean	0.112	0.114

Sumber: Olahan Sen2Cor 2020

Dari Tabel 4.1, diketahui citra Sentinel-2 Level 2A (terkoreksi atmosferik) mempunyai nilai minimum yang lebih kecil dibandingkan citra Sentinel-2 Level 1C. Penurunan nilai piksel menunjukkan adanya pengurangan *noise* yang diakibatkan oleh hamburan partikel di atmosfer. Sehingga, citra Sentinel-2 Level 2A mempunyai kualias visual yang lebih bersih. Terjadi pula pengurangan piksel, yang dapat diakibatkan oleh performa algoritma yang digunakan oleh Sen2Cor. Penerapan tersebut dapat berupa generalisasi, normalisasi, atau penyeleksian piksel.

Dibutuhkan sebanyak 4 *scene* citra untuk meng*cover* seluruh Kabupaten Bojonegoro menggunakan data citra Sentinel-2. Adapun hasil nilai piksel masing-masing *scene* untuk semua tanggal citra dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Nilai Piksel Hasil Sen2Cor Untuk Semua Tanggal Citra Pada Masing-Masing *Scene*

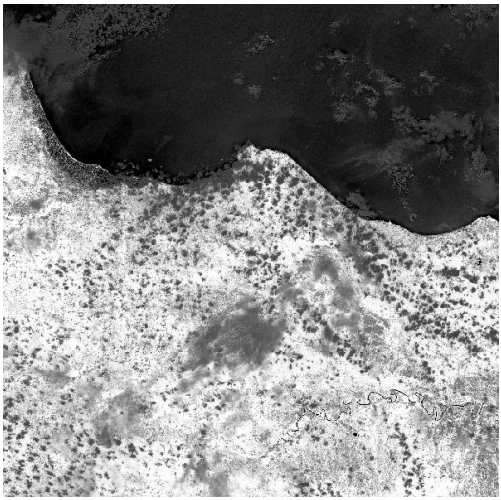
Tanggal	***Scene* Citra**	***Pixel Value***		
		Minimum	**Maksimum**	***Mean***
15 Desember 2018	T49MEM	0.000	1.818	0.301
	T49MEN	0.000	1.766	0.101
	T49MFN	0.000	1.882	0.161
	T49MFM	0.000	1.858	0.333
09 Januari 2019	T49MEM	0.000	1.709	0.145
	T49MEN	0.000	1.901	0.115
	T49MFN	0.000	1.944	0.114
	T49MFM	0.000	1.722	0.154
03 Februari 2019	T49MEM	0.000	1.696	0.209
	T49MEN	0.000	1.896	0.205
	T49MFN	0.000	1.906	0.129
	T49MFM	0.000	1.710	0.178
23 Februari 2019	T49MEM	0.000	1.718	0.180
	T49MEN	0.000	1.728	0.082
	T49MFM	0.000	1.752	0.171
	T49MFN	0.000	1.834	0.085
05 Maret 2019	T49MEM	0.000	1.678	0.141
	T49MEN	0.000	1.859	0.134
	T49MFM	0.000	1.696	0.242
	T49MFN	0.000	1.754	0.142
30 Maret 2019	T49MEM	0.000	1.662	0.104
	T49MEN	0.000	1.870	0.240
	T49MFM	0.000	1.659	0.096
	T49MFN	0.005	1.899	0.358

Tanggal	*Scene* Citra	*Pixel Value*		
		Minimum	**Maksimum**	***Mean***
04 April 2019	T49MEM	0.000	1.699	0.233
	T49MEN	0.000	1.754	0.131
	T49MFM	0.000	1.770	0.231
	T49MFN	0.000	1.853	0.108
24 April 2019	T49MEM	0.006	1.848	0.225
	T49MEN	0.000	1.837	0.198
	T49MFM	0.000	1.846	0.145
	T49MFN	0.000	1.888	0.100
09 Mei 2019	T49MEM	0.000	1.643	0.248
	T49MEN	0.000	1.710	0.090
	T49MFM	0.000	1.738	0.428
	T49MFN	0.000	1.826	0.106

Sumber: Olahan Sen2Cor 2020

4.2 Hasil Perhitungan Nilai Indeks Vegetasi

Dalam penelitian ini, indeks vegetasi yang digunakan adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Perhitungan nilai NDVI dilakukan pada semua tanggal akuisisi citra satelit. Nilai indeks vegetasi NDVI mempunyai rentang antara -1 hingga 1. Perhitungan NDVI bertujuan untuk melakukan pendugaan fase tanam padi dari grafik nilai NDVI multitemporal atau *time series*.



Gambar 4. 3 Hasil NDVI pada citra Sentinel-2 Level 2A pada tanggal 09 Januari 2019 (Olahan Sen2Cor 2020)

Nilai statistik hasil perhitungan NDVI untuk citra Sentinel-2 Level 2A ditampilkan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Nilai Statistik pada citra NDVI tanggal 09 Januari 2019

Variabel	S2A L2A 09 Januari 2019
#Pixels total	120560400
Minimum	-0.996
Maximum	0.999
Mean	0.267

Sumber: Olahan Sen2Cor 2020

Pada Tabel 4.3, NDVI citra satelit memiliki rentang nilai yang cukup mendekati standar. Hal ini menandakan tingkat variasi kehijauan vegetasi yang sangat tinggi. Semakin tinggi nilai NDVI (mendekati 1), maka tingkat kehijauannya juga semakin tinggi, berlaku juga sebaliknya.

Nilai statistik NDVI untuk semua tanggal citra dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 4 Rentang Nilai NDVI pada Semua Tanggal Perekaman Citra Sentinel-2

Tanggal	***Scene* Citra**	**NDVI minimum**	**NDVI maksimum**
15 Desember 2018	T49MEM	-0.9976	0.9994
	T49MEN	-0.8299	0.9996
	T49MFN	-0.9971	0.998
	T49MFM	-0.9998	0.9995
09 Maret 2019	T49MEM	-0.7234	0.9995
	T49MEN	-0.9956	0.9996
	T49MFN	-0.9962	0.9995
	T49MFM	-0.9995	0.9996
03 Februari 2019	T49MEM	-0.9896	0.9996
	T49MEN	-0.8601	0.9995
	T49MFN	-0.9959	0.9995
	T49MFM	-0.9976	0.9996
23 Februari 2019	T49MEM	-0.9545	0.9996
	T49MEN	-0.9955	0.9997
	T49MFN	-0.9997	0.9998
	T49MFM	-0.9996	0.9996
05 Maret 2019	T49MEM	-0.9901	0.9996
	T49MEN	-0.9988	0.9996
	T49MFN	-0.998	0.9994
	T49MFM	-0.9994	0.9996

Tanggal	*Scene* Citra	NDVI minimum	NDVI maksimum
30 Maret 2019	T49MEM	-0.9958	0.9996
	T49MEN	-0.9974	0.9992
	T49MFN	-0.9806	0.8745
	T49MFM	-0.9964	0.9996
04 April 2019	T49MEM	-0.7443	0.9996
	T49MEN	-0.9957	0.9995
	T49MFN	-0.997	0.9994
	T49MFM	-0.713	0.9994
24 April 2019	T49MEM	-0.5014	0.9174
	T49MEN	-0.7611	0.9994
	T49MFN	-0.9955	0.9993
	T49MFM	-0.9298	0.9994
09 Mei 2019	T49MEM	-0.9756	0.9996
	T49MEN	-0.9967	0.9996
	T49MFN	-0.9973	0.9994
	T49MFM	-0.7765	0.9996

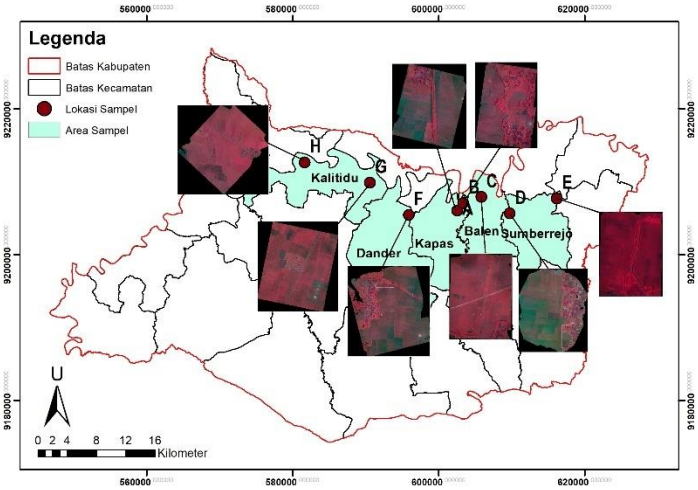
Sumber: Olahan Sen2Cor 2020

4.3 Hasil Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 25 – 26 Januari 2020 di 5 (lima) kecamatan di Kabupaten Bojonegoro yang meliputi Kecamatan Kalitidu, Dander, Kapas, Balen, dan Sumberrejo. Pengambilan sampel dilakukan pada sawah irigasi dan sawah tadah hujan. Sampel sawah yang diambil adalah sawah yang memiliki luas lebih dari 10 x 10 meter. Hal ini dilakukan karena resolusi spasial citra satelit Sentinel-2 untuk kanal *red, green, blue,* dan NIR adalah 10 meter.

Pengambilan sampel bertujuan untuk mengetahui fase tanam padi pada saat dilakukan survei lapangan dan

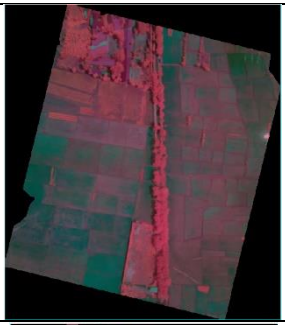
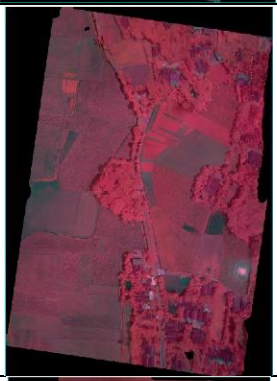
mengetahui nilai NDVI lapangan dengan menggunakan kamera IR dan wahana *drone*. Pemotretan dilakukan sebanyak 8 (delapan) kali di 5 (lima) Kecamatan di Kabupaten Bojonegoro. Selanjutnya dilakukan pengambilan titik sampel untuk mengetahui fase tanam di lapangan. Selain dari ciri-cirinya, fase tanam di titik sampel dapat diketahui dengan melakukan wawancara kepada petani setempat. Didapatkan sejumlah 57 titik sampel yang tersebar di 5 (lima) kecamatan. Adapun peta lokasi sampel disajikan pada gambar 4.4 berikut.

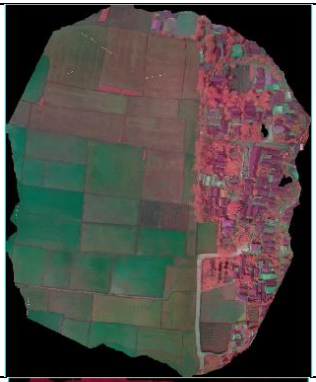
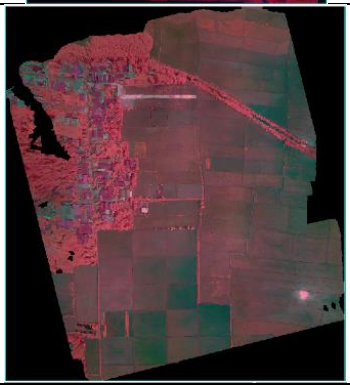


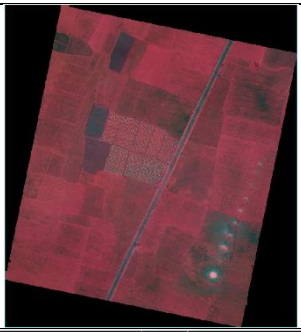
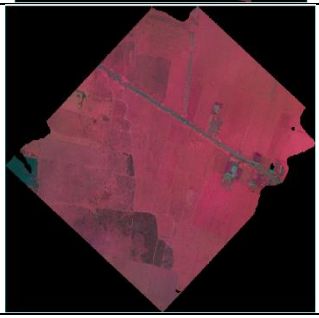
Gambar 4. 4 Lokasi Titik Sampel (Olahan Peneliti 2020)

Peta titik sampel beserta hasil foto kamera IR dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil foto dari Kamera IR dalam format Red, Green, dan NIR dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut

Tabel 4. 5 Hasil Foto Lokasi Sampel Format *Red, Green*, dan NIR dari Kamera IR

Label	**Gambar**	**Kecamatan**
A		Kapas
B		Kapas
C		Balen

Label	Gambar	Kecamatan
D		Sumberrejo
E		Sumberrejo
F		Dander

Label	Gambar	Kecamatan
G		Kalitidu
H		Kalitidu

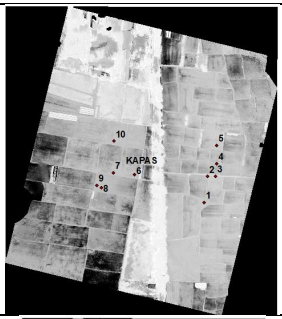
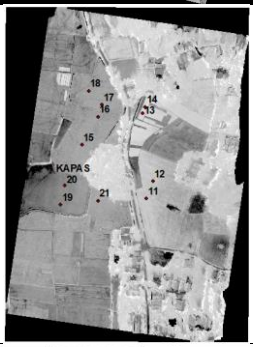
Sumber: Pengolahan Kamera IR 2020

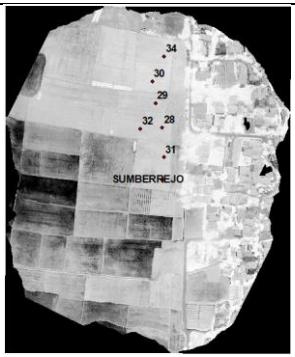
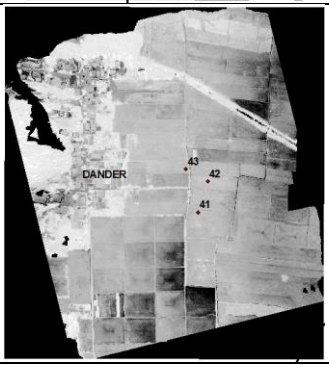
Pada tabel 4.5, semakin merah warna yang ditampilkan menunjukkan semakin tinggi tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasinya. Berlaku sebaliknya, semakin hijau atau gelap warna yang ditampilkan menunjukkan semakin rendah tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasinya.

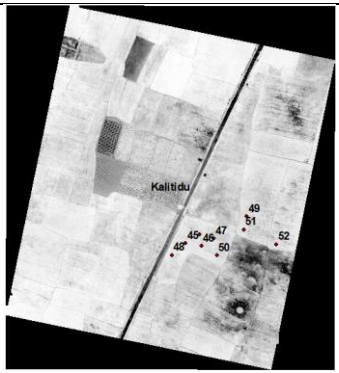
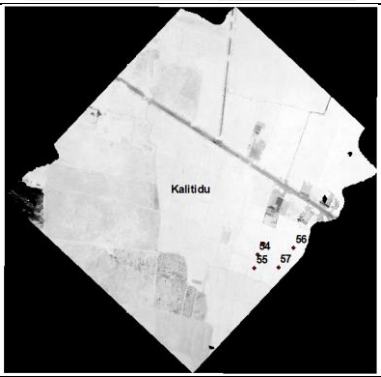
Hasil foto dari kamera IR kemudian diolah untuk mendapatkan nilai indeks vegetasinya dengan algoritma NDVI. Hasil NDVI dari kamera IR ini selanjutnya akan dikorelasikan dengan NDVI dari citra Sentinel-2 untuk melihat hubungan antar keduanya.

Adapun Hasil NDVI kamera IR dan sebaran titik sampel dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 NDVI Kamera IR dan Sebaran Titik Sampel

Label	Gambar	Kecamatan
A		Kapas
B		Kapas
C		Balen

Label	Gambar	Kecamatan
D		Sumberrejo
E		Sumberrejo
F		Dander

Label	Gambar	Kecamatan
G		Kalitidu
H		Kalitidu

Sumber: Pengolahan NDVI Kamera IR 2020

Pada tabel 4.6, semakin cerah warna yang dihasilkan, maka menunjukkan semakin tinggi nilai NDVI. Hal tersebut mempunyai arti bahwa semakin cerah warna pada hasil NDVI, maka tingkat kehijauan dan kerapatannya semakin tinggi. Sementara semakin gelap hasil NDVI, maka semakin rendah pula tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasinya. Pada tabel 4.6, warna yang gelap menunjukkan sawah yang masih digenangi air atau tutupan lahan berupa badan air dan non vegetasi lainnya.

Adapun statistik NDVI dari kamera IR dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut

Tabel 4. 7 Statistik Nilai NDVI dari Kamera IR

Label	**Keterangan**	**NDVI**		
		Minimum	**Maksimum**	***Mean***
A	*Flight 1*	-1.000	1.000	0.044
B	*Flight 2*	-1.000	0.973	0.236
C	*Flight 3*	-1.000	0.839	0.307
D	*Flight 4*	-1.000	1.000	0.035
E	*Flight 5*	-1.000	0.757	0.456
F	*Flight 6*	-1.000	1.000	0.143
G	*Flight 7*	-1.000	0.771	0.262
H	*Flight 8*	-1.000	0.554	0.254

Sumber: Pengolahan Statistik NDVI Kamera IR 2020

Dari tabel 4.7, diketahui nilai minimum NDVI untuk semua data adalah sebesar -1. Berbeda dengan nilai minimum, terdapat variasi pada nilai maksimum NDVI Kamera IR. Hal ini dikarenakan keadaan vegetasi yang berbeda-beda di tiap tempat pengambilan sampel. Titik-titik sampel tersebut akan digunakan untuk pendugaan fase pertumbuhan padi dengan mengekstrak nilai NDVI multitemporal pada setiap titik sampel. Pada umumnya, fase tanam padi mengalami siklus sinusoidal, dimana nilai terendah terjadi pada masa tanam (air), nilai tertinggi pada fase vegetatif dan mengalami penurunan kembali pada masa panen. Dengan melihat grafik nilai NDVI pada setiap titik sampel, maka pendugaan fase tanam padi akan lebih akurat. Hasil pengamatan fase tanam aktual di titik sampel dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4. 8 Fase Tanam Aktual di Titik Sampel

Kecamatan	ID Titik Sampel	Koordinat		Fase Tanam
		X (m)	Y (m)	
Kapas	1	602580.123	9205923.083	Air
	2	602585.079	9205959.392	Air
	3	602596.734	9205960.053	Air
	4	602598.276	9205977.518	Air
	5	602598.214	9206002.987	Air
	6	602483.318	9205962.237	Air
	7	602453.131	9205964.422	Air
Kapas	8	602436.935	9205943.854	Air
	9	602430.281	9205947.275	Air
	10	602454.329	9206008.985	Air
	11	603430.211	9207100.106	Vegetatif
	12	603439.943	9207124.437	Vegetatif
	13	603425.750	9207220.950	Vegetatif
	14	603428.994	9207229.466	Vegetatif
	15	603339.780	9207175.937	Bera
	16	603362.489	9207215.678	Bera
	17	603368.167	9207232.710	Bera
	18	603349.107	9207252.377	Bera
	19	603309.472	9207091.293	Air
	20	603315.555	9207118.665	Air
	21	603362.189	9207096.869	Air
Balen	22	605560.883	9207835.721	Generatif
	23	605608.306	9207835.728	Generatif
	24	605602.747	9207820.161	Generatif
	25	605639.440	9207870.569	Generatif

Kecamatan	ID Titik Sampel	Koordinat		Fase Tanam
		X (m)	Y (m)	
Balen	26	605637.958	9207877.982	Generatif
	27	605669.463	9207886.136	Generatif
Sumberrejo	28	609665.697	9205605.023	Air
	29	609657.134	9205635.180	Air
	30	609653.411	9205662.730	Air
	31	609667.559	9205567.793	Air
	32	609638.519	9205603.534	Air
	33	609666.070	9205539.498	Air
	34	609668.304	9205694.004	Air
	35	616196.773	9207668.652	Air
	36	616200.083	9207665.011	Air
	37	616196.773	9207657.397	Air
	38	616163.671	9207666.004	Air
	39	616121.301	9207709.698	Air
	40	616131.231	9207705.395	Air
Dander	41	595803.914	9205249.936	Air
	42	595819.609	9205298.831	Air
	43	595784.598	9205318.751	Air
Kalitidu	44	590453.921	9209757.910	Vegetatif
	45	590437.288	9209747.283	Vegetatif
	46	590456.231	9209744.049	Vegetatif
	47	590471.015	9209752.828	Vegetatif
	48	590421.117	9209733.423	Vegetatif
	49	590509.710	9209779.163	Vegetatif
	50	590474.481	9209732.961	Vegetatif
	51	590506.244	9209763.570	Vegetatif
	52	590544.650	9209746.023	Vegetatif

Kecamatan	ID Titik Sampel	Koordinat		Fase Tanam
		X (m)	Y (m)	
Kalitidu	53	581618.426	9212672.172	Generatif
	54	581611.794	9212660.897	Generatif
	55	581608.477	9212646.305	Generatif
	56	581650.925	9212668.193	Generatif
	57	581634.344	9212646.969	Generatif

Sumber: Pengolahan Fase Tanam Padi di Titik Sampel 2020

Dari hasil pengambilan sampel di lapangan, didapatkan fase tanam padi mayoritas berada pada fase air dan vegetatif. Hal ini dikarenakan bulan Januari merupakan awal dari *subround* 1 di mana merupakan fase tanam. Beberapa mengalami fase *ripening* yaitu fase generatif dan bera. Di Kecamatan Balen dan Kalitidu, beberapa titik sampel mengalami fase generatif, sementara di Kecamatan Kapas, 4 (empat) titik sampel mengalami fase bera. Untuk membedakan nilai NDVI padi dengan tutupan lahan lainnya, maka pengambilan sampel dilakukan hanya di area sawah saja.

Pada saat dilakukan survei lapangan, hanya beberapa lokasi sampel sawah yang diketahui jenis padinya, antara lain di Kecamatan Kepohbaru dan Kalitidu. Jenis padi yang digunakan di Kecamatan tersebut adalah INPARI 32. INPARI adalah singkatan dari Inbrida Padi Sawah Irigasi, merupakan padi inbrida yang ditanam di lahan sawah. Inbrida mempunyai arti varietas yang dikembangkan dari satu tanaman melalui penyerbukan sendiri sehingga memliki tingkat kemurnian atau *homozigositas* yang tinggi. INPARI memiliki umur tanaman antara 104 – 131 hari setelah sebar. Sementara jenis INPARI 32 memiliki umur tanaman yaitu 120 hari setelah sebar (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi 2020).

4.4 Uji Korelasi NDVI Citra dengan NDVI Kamera IR

Uji korelasi NDVI dilakukan untuk mengetahui kedekatan nilai NDVI dari citra Sentinel-2 dengan nilai NDVI yang didapatkan di lapangan dengan menggunakan kamera IR. Didapatkan kondisi fase tanam padi di lapangan didominasi oleh fase air dan vegetatif karena waktu pengambilan berada pada awal *Subround 1*, yaitu masa tanam padi pada bulan Januari - April.

Korelasi antara NDVI citra Sentinel-2 dengan NDVI Kamera IR yang didapatkan di lapangan dinyatakan dengan persamaan garis regresi. Koefisien determinasi atau R^2 merupakan salah satu ukuran yang sederhana dan sering digunakan untuk menguji kualitas suatu persamaan garis regresi (Sugiarti dan Megawarni 2010).

Didapatkan tabel koefisien korelasi NDVI titik sampel dari citra Sentinel-2 dengan NDVI titik sampel dari kamera IR untuk semua tanggal citra adalah sebagai berikut.

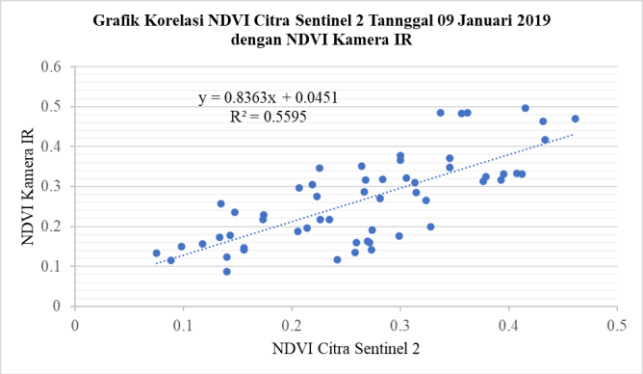
Tabel 4. 9 Tabel Korelasi Nilai NDVI Titik Sampel dari Citra Sentinel-2 dan NDVI Titik Sampel dari Kamera IR

Tanggal Citra	**R**	**R *Square***
15 Desember 2018	0.017	0.000
09 Januari 2019	0.748	0.560
03 Februari 2019	0.306	0.094
23 Februari 2019	0.431	0.186
05 Maret 2019	0.214	0.046
30 Maret 2019	0.245	0.060
04 April 2019	0.006	0.000
24 April 2019	0.497	0.247
09 Mei 2019	0.547	0.299

Sumber: Pengolahan Korelasi NDVI Citra Sentinel-2 di Titik Sampel dengan NDVI Kamera IR 2020

R adalah koefisien korelasi yang menunjukkan keeratan hubungan antara variabel bebas X dengan variabel tak bebas Y. Sedangkan R *square* (R^2) adalah koefisien determinasi yang menunjukkan variasi keragaman total Y yang dapat diterangkan oleh variasi variabel X. Korelasi terbaik diperoleh untuk citra pada tanggal 09 Januari 2019. Hal ini dikarenakan bulan Januari merupakan awal dari *Subround 1* pada fase tanam padi. Baik data lapangan maupun tanggal citra berada pada *Subround 1* sehingga dimungkinkan beberapa area persawahan memiliki fase yang sama antara tanggal citra dengan waktu ketika melakukan pengambilan sampel di lapangan.

Koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari hubungan NDVI citra Sentinel-2 tanggal 09 Januari 2019 dengan NDVI di lapangan adalah sebesar 0.560 dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0.748.



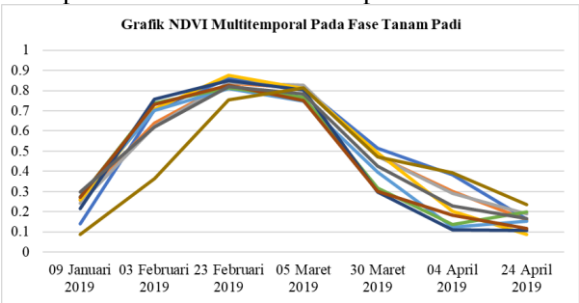
Gambar 4. 5 Grafik Regresi NDVI Sentinel-2 Tanggal 09 Januari 2019 dengan NDVI Kamera IR (Olahan Peneliti 2020)

Sementara korelasi terkecil diperoleh pada citra tanggal 15 Desember 2018 dan 04 April 2019 dengan koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh masing-masing adalah sebesar 0 dan koefisien korelasi (R) masing-masing sebesar

0.017 dan 0.006. Selain karena fase yang berbeda, Dilihat dari kualitas citranya, kedua tanggal citra tersebut memiliki tutupan awan yang lebat (lampiran 3). Faktor rendahnya nilai korelasi dapat diakibatkan beberapa titik sampel tertutup oleh awan sehingga menghasilkan nilai NDVI yang ekstrem (non-vegetasi).

4.5 Penentuan Fase Tanam Padi

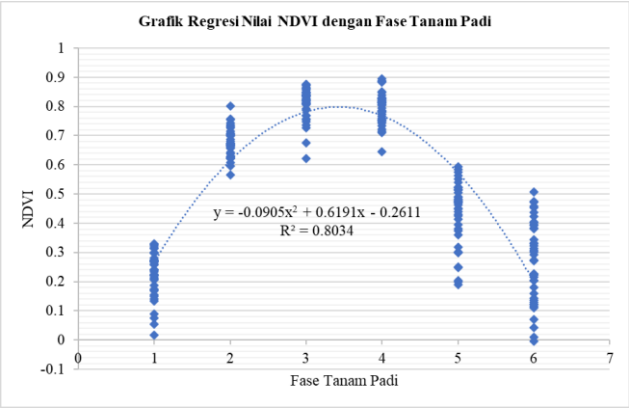
Penelitian ini menggunakan indeks vegetasi NDVI. Indeks vegetasi tersebut berkaitan dengan kerapatan daun dan konsentrasi klorofil sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi fase tanam padi. Nilai NDVI berpengaruh terhadap usia padi. Pada awal musim tanam, nilai NDVI bernilai minimum dan dikategorikan pada kerapatan badan air atau non vegetasi. Seiring pertumbuhannya, nilainya akan naik hingga mencapai maksimum saat padi dalam fase bunting (generatif). Pada saat fase bunting nilai NDVI maksimum dikarenakan jumlah klorofil pada jaringan mesofil daun dalam kondisi maksimum. Pada awal fase vegetatif dengan awal fase generatif, nilai NDVI cenderung sama. Untuk membedakannya, maka diperlukan visualisasi grafik nilai NDVI pada tiap bulan (*time series*) selama satu *Subround* untuk merepresentasikan fase tanam padi.



Gambar 4. 6 Grafik NDVI *Time Series* Fase Tanam Padi (Olahan Peneliti 2020)

Dari Gambar 4.6, terlihat dinamika nilai NDVI yang menunjukkan pola fase tanam padi dari mulai awal fase tanam hingga panen. Awal fase tanam padi dimulai dari fase air pada bulan Januari 2019 di mana NDVI memiliki nilai minimum. Hal ini dikarenakan pada fase air, sebagian besar sawah berisi air dengan sedikit kandungan klorofil dan kerapatan vegetasi yang rendah. Seiring dengan pertumbuhannya, terjadi kenaikan yang signifikan pada grafik NDVI. Hal ini menandakan padi mulai memasukai fase vegetatif. Fase vegetatif ditandai dengan adanya peningkatan klorofil dan kerapatan padi yang beriringan dengan pertumbuhan padi. Awal fase vegetatif terjadi pada tanggal 03 Februari 2019 hingga mencapai puncaknya pada tanggal 23 Februari 2019. Setelah mengalami fase vegetatif, padi mulai memasuki fase generatif. Fase ini ditandai dengan mulai adanya butiran padi hingga proses pemasakan. Pada fase ini, kandungan klorofil mulai menurun sehingga menyebabkan grafik NDVI menurun. Awal fase generatif terjadi pada akhir Februari 2019 hingga mencapai puncaknya pada 30 Maret 2019. Fase generatif ditandai dengan padi yang mulai memasuki proses pemasakan hingga daun padi yang menjadi kuning. Fase akhir, yaitu fase bera terjadi di bulan April 2019. Fase ini ditandai dengan matangnya padi yang siap panen hingga kondisi tanah pasca panen yang belum ditanami kembali. Pada fase ini, nilai NDVI berada di tingkat minimum yang hampir sama dengan nilai NDVI ketika fase air.

Dari grafik NDVI *time series* di atas, selanjutnya dibuat hubungan antara nilai NDVI dengan fase tanam padi untuk mengetahui tingkat korelasi pendugaan fase tanam padi melalui grafik *time series* NDVI dengan nilai NDVI pada tiap fasenya. Adapun hasil regresi antara nilai NDVI dengan fase tanam padi terdapat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Grafik Regresi Nilai NDVI dengan Fase Tanam Padi (Olahan Peneliti 2020)

Dari grafik tersebut, fase 1 merupakan fase air, fase 2 dan 3 merupakan fase vegetatif, fase 4 dan 5 merupakan fase generatif, dan fase 6 merupakan fase bera. Pada grafik tersebut, nilai NDVI semakin meningkat dari fase air hingga puncak fase vegetatif ketika aktivitas klorofil mencapai puncaknya, kemudian mulai terjadi penurunan pada fase generatif hingga fase bera yang merupakan fase pemasakan hingga padi yang telah panen.

Didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) adalah sebesar 0.803 dan koefisien korelasi (R) sebesar 0.896 yang artinya nilai NDVI citra Sentinel-2 dan fase tanam padi memiliki korelasi yang sangat kuat untuk model di atas.

Untuk mengetahui rentang nilai NDVI pada masing-masing fase, maka dilakukan pengelompokkan nilai NDVI pada masing-masing fase sesuai grafik di atas. Berikut adalah tabel fase tanam padi dan rentang nilai NDVI dari citra Sentinel-2 pada masing-masing fase.

Tabel 4. 10 Tabel Rentang Nilai NDVI Citra Sentinel-2 dan Fase Tanam Padi

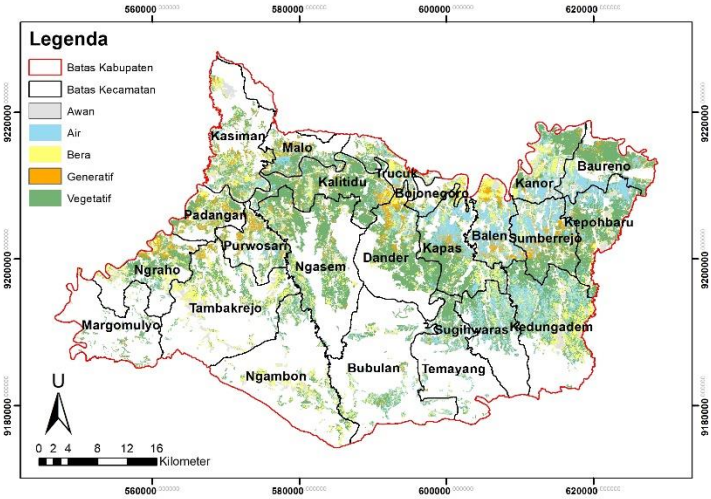
No	Fase Tanam	NDVI
1	Air	< 0.224
2-3	Vegetatif	0.224 – 0.894
4-5	Generatif	0.893 – 0.270
6	Bera	< 0.270

Sumber: Pengolahan Rentang Nilai NDVI untuk Fase Tanam Padi 2020

4.6 Klasifikasi Fase Tanam Padi

Proses klasifikasi dilakukan secara terbimbing dengan membuat *training samples* sebanyak minimal 5 kelas untuk tiap fase tanam padi. Metode klasifikasi terbimbing yang digunakan adalah metode *Maximum Likelihood Classification*. Penentuan klasifikasi fase dilakukan dengan melihat grafik *time series* NDVI pada tiap sampel yang dipilih sehingga dapat diketahui fase yang terjadi di lokasi tersebut pada tiap tanggal citra. Selain itu, interpretasi visual juga digunakan untuk mempermudah mengenali fase yang terjadi di tiap titik sampel.

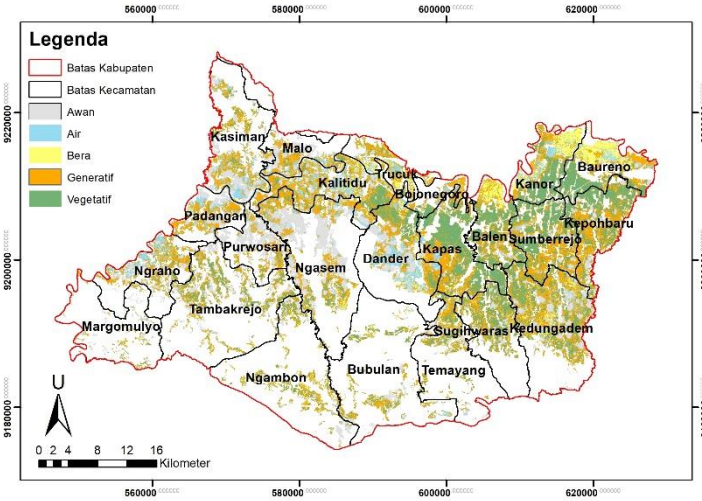
Pada penenelitian ini dipilih masa *Subround 1* (Januari - April) dikarenakan pada masa tersebut, seluruh sawah, baik sawah irigasi maupun sawah tadah hujan sedang ditanami padi. Sementara saat menjelang musim kemarau, biasanya sawah ditanami dengan tanaman selain padi. Hal ini dikarenakan keterbatasan air, sementara padi membutuhkan banyak air.



Gambar 4. 8 Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 09 Januari 2019 (Olahan Peneliti 2020)

Hasil klasifikasi fase tanam padi disajikan dengan 4 (empat) keterangan warna antara lain biru, hijau, jingga, dan kuning yang masing-masing menunjukkan fase air, vegetatif, generatif, dan bera. Pada gambar 4.8 menunjukkan sebagian besar lahan sawah berada pada fase air dan vegetatif. Luas fase vegetatif pada citra tanggal 09 Januari 2019 adalah sebesar 42073.727 ha. Dengan luas total lahan sawah sebesar 183788.563 ha, hal ini berarti sebesar 22.89% dari lahan sawah yang ada pada Kabupaten Bojonegoro pada tanggal 09 Januari 2019 berada pada fase vegetatif. Sementara luas fase air mencapai 27708.946 ha yang berarti sebesar 15.08% dari lahan sawah yang ada pada Kabupaten Bojonegoro pada tanggal 09 Januari 2019 berada pada fase air. Luas fase bera adalah sebesar 18817.989 ha atau sebesar 10.24% dari luas total lahan sawah. Luas fase generatif adalah sebesar 8476.960 ha atau sebesar 4.61% dari luas total lahan sawah. Sebaran

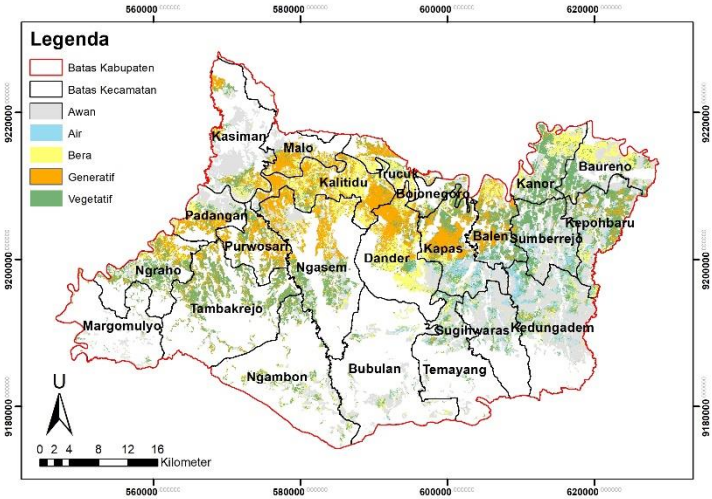
fase air yang dominan berada di Kecamatan Kapas, Balen, Sumberrejo, Kanor, dan Baureno. Sementara sebaran fase vegetatif yang dominan berada di Kecamatan Kalitidu, Ngasem, Malo, Trucuk, Dander, Kapas, Kepohbaru, Baureno, dan Kanor.



Gambar 4. 9 Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 23 Februari 2019 (Olahan Peneliti 2020)

Hasil klasifikasi pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa lahan sawah yang sebelumya berada pada fase air dan vegetatif, berubah menjadi fase vegetatif dan generatif. Dalam hal ini, fase air di bulan Januari 2019 berubah menjadi fase vegetatif di bulan Februari, tepatnya pada tanggal 23 Februari 2019 sesuai tanggal citra. Sedangkan fase vegetatif di bulan Januari berubah menjadi fase generatif di bulan Februari 2019 sesuai tanggal citra. Beberapa lahan sawah yang sebelumnya berada di fase bera pada bulan Januari 2019, berubah menjadi fase air di bulan Februari 2019. Pada bulan ini, fase yang dominan adalah fase vegetatif dan generatif. Fase vegetatif

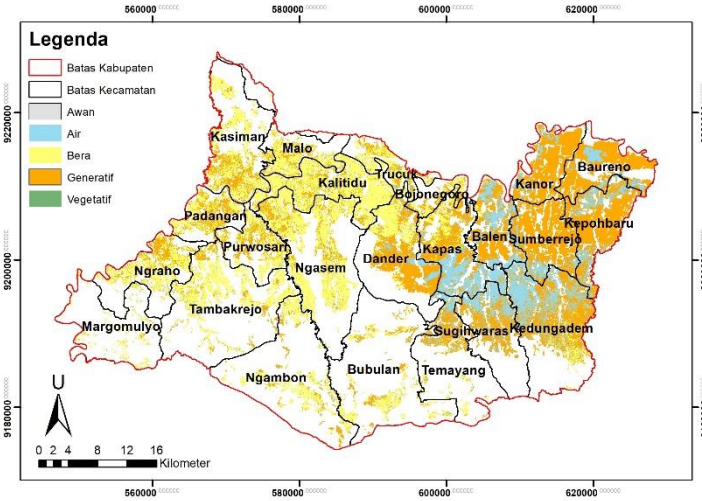
memiliki luas sebesar 26637.347 ha atau sebesar 14.49% dari luas total lahan sawah. Fase generatif memiliki luas sebesar 38503.829 ha atau sebesar 20.95% dari luas total lahan sawah. Fase bera memiliki luas sebesar 5732.306 ha atau sebesar 3.12% dari luas total lahan sawah. Fase air memiliki luas sebesar 13424.162 ha atau sebesar 7.30% dari luas total lahan sawah. Sebaran fase vegetatif yang dominan berada di Kecamatan Kapas, Balen, Sumberrejo, Kepohbaru, Baureno, dan Kanor. Sementara sebaran fase generatif yang dominan berada di Kecamatan Kalitidu, Kapas, Sumberrejo, Kepohbaru, dan Kedungadem



Gambar 4. 10 Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 05 Maret 2019 (Olahan Peneliti 2020)

Hasil klasifikasi pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa lahan sawah pada tanggal 05 Maret 2019 berada pada fase vegetatif, generatif, dan bera. Luas fase generatif adalah sebesar 20754.812 ha atau sebesar 11.29% dari luas total lahan sawah. Luas fase vegetatif adalah sebesar 24568.712 ha

atau sebesar 13.37% dari luas total lahan sawah. Luas fase bera adalah sebesar 16428.930 ha atau sebesar 8.94% dari luas total lahan sawah. Luas fase air adalah sebesar 5684.571 ha atau sebesar 3.09% dari luas total lahan sawah. Sebaran fase vegetatif yang dominan berada di Kecamatan Ngraho, Tambakrejo, Kapas, Balen, Sumberrejo, Kanor, dan Kepohbaru. Sementara sebaran fase generatif yang dominan berada di Kecamatan Kalitidu, Malo, Dander, Kapas, Balen, dan Ngasem.



Gambar 4. 11 Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 30 Maret 2019 (Olahan Peneliti 2020)

Hasil klasifikasi pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa pada tanggal 30 Maret 2019, lahan sawah di Kabupaten Bojonegoro mulai berada di masa panen. Hal ini ditunjukkan dengan adanya fase generatif dan bera yang cukup dominan. Pada tanggal ini, lahan sawah berada di 3 fase, yaitu fase air, generatif, dan bera. Luas fase bera adalah sebesar 38438.981 ha atau sebesar 20.92% dari luas total lahan sawah. Luas fase

generatif adalah sebesar 49157.631 ha atau sebesar 26.75% dari luas total lahan sawah. Luas fase air adalah sebesar 16246.521 ha atau sebesar 8.84% dari luas total lahan sawah. Sebaran fase bera yang dominan berada di Kecamatan Dander, Kalitidu, Trucuk, Malo, Ngasem, Tambakrejo, Ngraho, Purwosari, Padangan, dan Kasiman. Sementara sebaran fase generatif yang dominan berada di Kecamatan Dander, Kapas, Balen, Sumberrejo, Kepohbaru, Kanor, Baureno, Sugihwaras, dan Kedungadem.

4.7 Uji Akurasi Klasifikasi Fase Tanam Padi

Uji akurasi dilakukan berdasarkan *training samples* atau *Region of Intereset* yang telah di buat per fase tanam. Masing-masing fase tanam minimal memiliki 5 *training samples*. Hasil uji akurasi untuk citra tanggal 09 Januari 2019 menghasilkan koefisien Kappa sebesar 0.7824 dan *overall accuracy* sebesar 83.87%. Nilai uji akurasi dianggap benar apabila memiliki nilai *Overall Accuracy* sebesar di atas 75% (LAPAN 2015).

Tabel 4. 11 Uji Akurasi Klasifikasi Padi Tanggal 09 Januari 2019

Klasifikasi/ Validasi	Air	Bera	Generatif	Vegetatif	Total	*User Accuracy*
Air	67	11	0	0	78	85.90
Bera	0	109	0	0	109	100.00
Generatif	0	0	76	10	86	88.37
Vegetatif	0	39	5	86	130	66.15
Total	67	159	81	96	403	
	100.00	68.55	93.83	89.58		
	Producer Accuracy					

Sumber: Pengolahan Uji Akurasi Klasifikasi 2020

Hasil uji akurasi pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa akurasi klasifikasi paling tinggi untuk citra tanggal 09 Januari

2019 berada pada fase air dengan *user accuracy* sebesar 85.90% dan *producer accuracy* sebesar 100%. besarnya nilai akurasi bergantung pada kualitas citra yang digunakan. Untuk citra sentinel pada tanggal ini, visual yang didapatkan cukup bersih meskipun terdapat tutupan awan sehingga mempermudah proses interpretasi objek permukaan bumi, begitu pula dengan kerapatan vegetasi.

4.8 Analisis Nilai NDVI dengan Produktivitas Padi

Pada tahap ini dilakukan korelasi untuk mengetahui seberapa dekat hubungan antara nilai NDVI dengan produksi padi. Korelasi dilakukan di tiap kecamatan di Kabupaten Bojonegoro. Titik sampel diambil secara acak dengan mempertimbangkan bahwa sawah berada di rentang NDVI fase generatif (0.893 – 0.270). Sebaran NDVI dan produksi padi dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut:

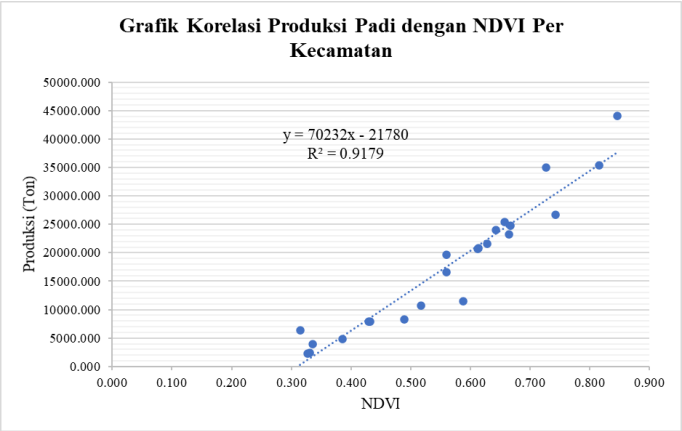
Tabel 4. 12 Tabel Nilai NDVI dan Produksi Padi per Kecamatan

Kecamatan	Produksi (Ton)	NDVI	Koordinat Sampel	
			X (m)	Y (m)
Kasiman	7900.279	0.432	571951.496	9211847.943
Malo	8297.603	0.489	579382.139	9214293.489
Kalitidu	23187.320	0.665	590278.972	9209214.614
Padangan	7920.446	0.429	570645.469	9206833.654
Ngasem	26664.823	0.742	582823.505	9203936.165
Purwosari	11445.363	0.588	574017.110	9205417.517
Tambakrejo	20785.995	0.614	568810.851	9201648.093
Ngraho	19623.583	0.560	565007.956	9200349.811
Margomulyo	6346.108	0.315	557990.519	9196873.664
Ngambon	3978.270	0.336	579957.782	9194681.396
Kanor	16642.866	0.560	614585.787	9214360.264

Kecamatan	Produksi (Ton)	NDVI	Koordinat Sampel	
			X (m)	Y (m)
Trucuk	4816.678	0.386	593108.388	9212295.999
Baureno	24735.199	0.667	619891.338	9214799.806
Kepohbaru	35007.886	0.727	618795.129	9204836.313
Sugihwaras	20732.919	0.612	604554.735	9195298.801
Kedungadem	44077.447	0.846	610242.157	9198304.785
Sumberrejo	35423.920	0.816	613963.815	9202522.462
Balen	25453.532	0.657	607171.957	9207785.257
Bojonegoro	2316.329	0.327	600076.274	9209465.783
Kapas	21624.853	0.628	599720.661	9201183.076
Dander	23945.077	0.643	592906.092	9203123.832
Temayang	10736.946	0.518	600170.792	9194544.264
Bubulan	2382.828	0.331	594340.527	9190276.672

Sumber: Pengolahan Korelasi NDVI dengan Produksi Padi 2020

Dari tabel 4.12, dilakukan uji korelasi untuk mengetahui hubungan antara NDVI dengan produksi padi. Didapatkan nilai korelasi (R) sebesar 0.958 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.918. Hal tersebut menunjukkan bahwa NDVI berpengaruh terhadap produksi padi. Produksi padi akan optimal ketika pertumbuhan padi selama musim tanam dalam keadaan baik. Banyak parameter fisik maupun kimiawi yang mampu menunjang pertumbuhan padi, diantaranya adalah suhu, ketersediaan air, pupuk, kondisi tanah, dan lainnya.



Gambar 4. 12 Grafik Korelasi Produksi Padi dengan Nilai NDVI Per Kecamatan (Olahan Peneliti 2020)

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Identifikasi fase tanam padi dilakukan dengan menganalisis grafik *time series* NDVI. Identifikasi fase tanam padi secara *time series* ini sangat efektif dalam membedakan tiap fase, terutama fase vegetatif dan generatif yang mempunyai rentang nilai NDVI yang hampir sama. Dari grafik *time series* NDVI, didapatkan rentang nilai NDVI fase tanam padi dari citra Sentinel-2. Fase air memiliki nilai NDVI < 0.224. Fase vegetatif memiliki rentang nilai NDVI 0.224 – 0.894. Fase generatif memiliki rentang nilai NDVI 0.893 – 0.270. Fase bera memiliki rentang nilai NDVI < 0.270. Didapatkan tingkat hubungan atau korelasi (R) antara nilai NDVI citra Sentinel-2 dengan fase tanam padi adalah sebesar 0.896 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.803 atau 80.34%. Hal tersebut menunjukkan korelasi antara nilai NDVI citra Sentinel-2 dengan fase tanam padi mempunyai tingkat hubungan yang sangat kuat. Sehingga hasil pendugaan fase tanam padi dari NDVI citra Sentinel-2 dapat digunakan atau valid. Dari hasil pengolahan data lapangan menunjukkan tingkat hubungan antara NDVI citra Sentinel-2 pada tanggal 09 Januari 2019 dengan NDVI Kamera IR yang kuat. Sehingga nilai NDVI dari Kamera IR dapat digunakan sebagai validasi dari nilai NDVI citra Sentinel-2.
2. Dari hasil klasifikasi citra Sentinel-2, didapatkan nilai hasil uji akurasi klasifikasi untuk citra tanggal 09 Januari 2019 menghasilkan koefisien Kappa sebesar 0.7824 dan *overall accuracy* sebesar 83.87%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil klasifikasi citra sudah valid. Akurasi klasifikasi paling tinggi untuk citra tanggal 09

Januari 2019 berada pada fase air dengan *user accuracy* sebesar 85.90% dan *producer accuracy* sebesar 100%.

3. Sebaran spasial fase tanam padi berdasarkan hasil klasifikasi menunjukkan bahwa pada tanggal 09 Januari 2019 sawah dominan berada pada fase air dan vegetatif. Sebaran fase air yang dominan berada di Kecamatan Kapas, Balen, Sumberrejo, Kanor, dan Baureno dengan luas sebesar 27708.946 ha. Sebaran fase vegetatif yang dominan berada di Kecamatan Kalitidu, Ngasem, dan Malo dengan luas sebesar 42073.727 ha. Pada tanggal 23 Februari 2019 sawah dominan berada pada fase vegetatif dan generatif. Sebaran fase vegetatif yang dominan berada di Kecamatan Kapas, Balen, Sumberrejo, Kepohbaru, Baureno, dan Kanor dengan luas sebesar 26637.347 ha. Sebaran fase generatif yang dominan berada di Kecamatan Kalitidu, Kapas dan Sumberrejo dengan luas sebesar 38503.829 ha. Pada tanggal 05 Maret 2019, sebaran fase generatif yang dominan berada di Kecamatan Kalitidu, Malo, Dander, Kapas, Balen, dan Ngasem dengan luas sebesar 20754.812 ha. Pada tanggal 30 Maret 2019, sebaran fase bera yang dominan berada di Kecamatan Dander, Kalitidu, Trucuk, Malo, Ngasem, Tambakrejo, Ngraho, Purwosari, Padangan, dan Kasiman dengan luas sebesar 38438.981 ha.

5.2 Saran

1. Dikarenakan penelitian ini dilakukan pada *Subround* 1 (Januari-April), sehingga citra yang digunakan memiliki banyak tutupan awan. Diperlukan filtering data citra dengan tutupan awan setidaknya < 30% atau menggunakan data radar dengan metode pengolahan yang telah disesuaikan.
2. Pembuatan *training samples* untuk masing-masing kelas pada saat proses klasifikasi harus dilakukan dengan teliti untuk setiap area sampel agar tidak terjadi kesalahan

interpretasi dalam klasifikasi. Jumlah poligon sampel harus memenuhi akurasi dengan jumlah minimal 3 (tiga) poligon untuk setiap objek yang terdiri dari minimal 9 piksel per poligon.

3. Perlu manajemen kegiatan lapangan yang baik. Untuk mendapatkan hasil klasifikasi yang lebih akurat, seharusnya citra satelit dan kegiatan pengambilan sampel di lapangan tidak mempunyai selisih yang jauh dari segi temporal (waktu) sehingga kondisi di citra dan lapangan tidak berbeda secara signifikan.
4. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, diperlukan perbandingan NDVI dengan indeks vegetasi lainnya, seperti EVI dan MSAVI.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

Abdurrachman dan Irfan, M. 2013. Kajian Potensi Bionutrien Caf dengan Penambahan Ion Logam Terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan 215 Tanaman Padi. Universitas Pendidikan Indonesia: Depok.

Aji, B.J.P.S, Prasetyo, Y., dan Hani'ah. 2017. Analisis Tingkat Produksi Padi dan Perhitungan Logistik Pangan Berdasarkan Metode EVI (*Enhanced Vegetation Index*) dan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) Menggunakan Citra Sentinel-2 Tahun 2016. Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro.

Ariani, M. 2004. Dinamika Konsumsi Beras Rumahtangga dan Kaitannya dengan Diversifikasi Konsumsi Pangan. Dalam Ekonomi Padi dan Beras Indonesia. Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.

Astanti, V. 2017. Petani Genjot Produksi Padi, Bojonegoto Surplus 700 Ribu Ton, <URL: https://beritabojonegoro.com/read/10259-petani-genjot-produksi-padi-bojonegorosurplus-750-ribu-ton.html>. Dikunjungi pada tanggal 16 Oktober 2019.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2005. Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Padi. Departemen Pertanian.

Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. 2006. Pendugaan Produktivitas Tanaman padi Sawah Melalui Analisis Citra Satelit, *15*, 853–869.

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 2020. INPARI, <URL: http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id/index.php/varietas-padi/inbrida-padi-sawah-inpari>. Diakses pada tanggal 20 Mei 2020.

Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2014. "Laporan Tahunan 2014: Inovasi Pertanian untuk Kemandirian

Pangan dan Energi". Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian: Jakarta.

BPTP Kalimantan Tengah. 2016. Verifikasi Lapangan Untuk Menilai Akurasi Model Standing Crop Padi Sawah Melalui Integrase Data Satelit Resolusi Tinggi dan Menengah. <URL:http://kalteng.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/ publikasi mainmenu-47-47/teknologi/576-verifikasi-lapangan-untuk-menilai-akurasi-model-tanding-crop-padi-sawah-melalui-integrasi-data-satelit-resolusi-tinggi-dan-menengah>. Diunduh tanggal 14 Juli 2019.

Chein-I Chang and H.Ren. 2000. "An Experiment-Based Quantitative and Comparative Analysis of Target Detection and Image Classification Algorithms for Hyperspectral Imagery". IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing.

Danoedoro, P. 1996. Pengolahan Citra Digital Teori dan Aplikasinya dalam Bidang Penginderaan Jauh. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gajah Mada.

Dao, P.D. and Liou, Y. 2015. "Object-Based Flood Mapping and Affected Rice Field Estimation with LANDSAT 8 OLI and MODIS Data". Remote Sensing Journal. 2015, 7(5), 5077-5097.

Dirgahayu, D. 2005. "Model pertumbuhan tanaman padi menggunakan data MODIS untuk pendugaan umur padi sawah". Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV; Surabaya 14-15 Septermber 2005. Surabaya.

DJI. 2020. Phantom 4 Pro Specs, <URL: https://www.dji.com/id/phantom-4-pro/info>. Diakses pada tanggal 14 Januari 2020 pukul 09:41 WIB

ESA. 2015. Sentinel-1 User Handbook, <URL:https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook, p. 80>. diunduh pada tanggal 20 Oktober 2018.

ESA. 2018. Overview Sentinel Satellites – Copernicus. <URL:https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_

Earth/Copernicus/Overview4.European Space Agency>. Diakses tanggal 10 Oktober 2018.

Faizal, A., dan Amran, A.M. 2005. Model Transformasi Indeks Vegetasi Yang Efektif Untuk Prediksi Kerapatan Mangrove Rhizophora Mucronata. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

Fuazi, R. 2015. Koreksi Atmosfer Citra penginderaan Jauh (Citra Satelit). <URL:http://rifkifauzi.blog.ugm.ac.id/2015/11/07/koreksi-atmosfercitra-penginderaan-jauh-citrasatelit/>. Diakses pada 26 Mei 2016.

Garmin. 2020. GPS Accuracy, <URL: https://support.garmin.com/en-US/?faq=aZc8RezeAb9LjCDpJplTY7>. Dikunjungi pada 10 Januari 2020 pukul 08:29 WIB

Hafizh, A.S., Cahyono, A. B., dan Wibowo, A. 2013. Penggunaan Algoritma NDVI dan EVI pada Citra Multispektral untuk Analis Pertumbuhan Padi (Studi Kasus: Kabupaten Indramayu, Jawa Barat). Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh November : Surabaya.

Huamin, *et al*. 2009. “Modeling Gross Primary Productivity for Winter Wheat-Maize Double Cropping System using MODIS Time Series and CO2 Eddy Flux Tower Data”. Agriculture, Ecosystems and Environment Journal. China: 391-400.

Huda, D. N. 2018. Analisis Kerapatan Vegetasi Untuk Area Pemukiman Menggunakan Citra Satelit LANDSAT di Kota Tasikmalaya. Universitas Indonesia: Depok.

Jaelani, L. M. 2014. Development of a New Atmospheric Correction Algorithm for Turbid Inland Water. Graduate School of Life and Environmental Sciences, the University of Tsukuba: Japan.

Kawamuna, A., Suprayogi, A., dan Wijaya, A. P. 2017. “Analisis Kesehatan Hutan Mangrove Berdasarkan Metode

Klasifikasi Ndvi Pada Citra Sentinel-2 (Studi Kasus:Teluk Pangpang Kabupaten Banyuwangi)". Journal of Geodesy, 6(1), 277-284.

Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2018. Optimis Produksi Beras 2018, Kementan Pastikan Harga Beras Stabil, <URL:https://www.pertanian.go.id/home/?show=news&act=view&id=2614>. Dikunjungi pada 07 Januari 2020, jam 22:43 WIB.

Kusuma, W. Effendi, dan Iskandar, E. 2012. "Perancangan dan Implementasi Kontrol Fuzzy-PID pada Pengendalian Auto Take-Off Quadcopter UAV". Jurnal Teknik Pomits, 1(1), 1-6.

Landgrebe, D. 2003. Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing. John Willey & Sons Inc: New Jersey.

Lillesand and Kiefer. 2004. Remote Sensing And Image Interpretation. John Wiley & Son: New York.

Madsen, *et al*., 2017. RoboWeedSupport-Semi-Automated Unmanned Aerial System for Cost Efficient High Resolution in Sub-Millimeter Scale Acquisition of Weed Images. Int. J. Mech. Aerosp. Ind. Mechatron. *Manuf. Eng, 11*, pp.835-839.

Main-Knorn, M., Pflug, B., Debaecker, V., dan Louis, J. 2015. "Calibration and Validation Plan for the L2A Processor and Products of the Sentinel-2 Mission". 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Berlin: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 1249-1255.

Maksum, Z.U. 2015. *Klasifikasi Indeks Vegetasi*.https://geomusa.com/2015/10/enhanced-vegetation-index-evi/. Diakses pada tanggal 10 Juli 2017.

Mapir. 2020. Survey3W Camera-RGN. <URL: https://www.mapir.camera/collections/survey3/products/survey3w-camera-red-green-nir-rgn-ndvi>. Diakses pada tanggal 09 Januari 2020, pukul 12:48 WIB.

Marini, Y., Emiyati, Hawariyah, S., dan Hartuti, M. 2014. “Perbandingan Metode Klasifikasi *Supervised Maximum Likelihood* Dengan Klasifikasi Berbasis Objek Untuk Inventarisasi Lahan Tambak Di Kabupaten Maros”. Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014: 505-516.

Maspiyanti, F., dkk. 2013. “Klasifikasi Fase Pertumbuhan Padi Berdasarkan Citra Hiperspektral dengan Modifikasi Logika Fuzzy (*Paddy Growth Stages Classification Based on Hyperspectral Image Using Modified Fuzzy Logic*)”. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital Vol. 10 No. 1, Juni 2013. ISSN 1412-8098: 39-46.

Mostafa, K., dkk. 2014. “Development of a Remote Sensing Based “Boro” Rice Mapping System”. Remote Sensing Journal. Department of Geomatics Engineering, Schulich School of Engineering, University of Calgary, 2500 University Dr NW, Calgary, Alberta T2N 1N4, Canada: 1938-1953.

Noer, M. 2008. Estimasi Produksi Tanaman Padi Sawah di Kabupaten Bekasi, Karawang, dan Subang. Departemen Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia: Depok.

Nurwatik. 2015. Analisa Estmasi Produksi Padi Berdasarkan Luas Panen dengan Data Citra Satelit Landsat 8 Menggunakan Metode Regresi Linier (Studi Kasus: Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur). Departemen Teknik Geomatika, FTSPK-ITS: Surabaya

O'Keefe, M. 2018. "Unmanned Aerial Systems for Estimating Canopy Structure and Assessing Vegetation Health in Willow Crops". *Dissertations and Theses*. 30.

Parsa, I. M. “Kajian Pendekatan Teori Probabilitas untuk Pemetaan Lahan Sawah Berbasis Perubahan Penutup Lahan Citra Landsat Multiwaktu (Studi Kasus Daerah Tanggamus, Lampung)”. Jurnal Penginderaan Jauh. Vol. 10, No. 2 Desember 2013:113-121.

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh. 2015. Pedoman Pengolahan Data Satelit Multispektral Secara Digital Supervised Untuk Klasifikasi. Jakarta: LAPAN

Sari, V.D. dan Sukojo, B.M. 2015. Analisa Estimasi Produksi Padi Berdasarkan Fase Tumbuh dan Model Peramalan *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 (Studi Kasus: Kabupaten Bojonegoro). Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

Schultz, N. 2017. High Resolution Remote Sensing using UAS Technology, <URL: https://hixon.yale.edu/sites/default/files/files/fellows/paper/schultz_hixon_final_121517.pdf>. Diakses pada tanggal 14 Januari 2020, pukul 08.30 WIB.

Soekirman. 2014. Uji Korelasi, <URL: https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>. Universitas Sumatera Utara. Repository USU. Dikunjungi pada tanggal 16 Oktober 2019.

Strahler, *et al.* 2006. Global Land Cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps. Office for Official Publications of the European Communities.

Sudarsono, Sudarsono, dan Wijaya. 2016. “Analisis Fase Tumbuh Padi Menggunakan Algoritma EVI, SAVI, dan LSWI pada Citra Landsat 8”. Jurnal Geodesi Undip, vol. 5 No. 1 (ISSN:2337-845X).

Sugiyono. 2008. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.

Sugiarti, H. dan Megawarni A. 2010. Koefisien Determinasi Sebagai Ukuran Kesesuaian Model pada Regresi Robust. Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Terbuka.

Sukojo, *et al*. 2019. Analysis of Rice Varieties Productivity Using Sentinel-2A Satellite Image Data (Case Study of Bojonegoro Regency). Indonesian Journal of Geography.

Sutanto. 1992. Penginderaan Jauh. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.

Sutan, N. 2008. Perancangan Program Aplikasi Klasifikasi Citra dengan Metode Bayesian. Teknik Informatika, Universitas Tarumanegara.

Xiao, *et al*. 2005. "Mapping Paddy Rice Agriculture in Southern China Using Multi-Temporal MODIS Images". Remote Sensing of Environment, 95, 480–492.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Perbandingan Nilai NDVI Citra Sentinel-2 Tanggal 09 Januari 2019 dengan NDVI dari Kamera IR

ID Sampel	Koordinat		NDVI Citra	NDVI Kamera IR
	X (m)	Y (m)		
1	602580.123	9205923.083	0.273	0.141
2	602585.079	9205959.392	0.272	0.161
3	602596.734	9205960.053	0.214	0.196
4	602598.276	9205977.518	0.270	0.162
5	602598.214	9206002.987	0.299	0.177
6	602483.318	9205962.237	0.242	0.117
7	602453.131	9205964.422	0.258	0.135
8	602436.935	9205943.854	0.140	0.087
9	602430.281	9205947.275	0.140	0.124
10	602454.329	9206008.985	0.259	0.160
11	603430.211	9207100.106	0.206	0.296
12	603439.943	9207124.437	0.219	0.305
13	603425.750	9207220.950	0.300	0.378
14	603428.994	9207229.466	0.300	0.366
15	603339.780	9207175.937	0.174	0.229
16	603362.489	9207215.678	0.156	0.142
17	603368.167	9207232.710	0.234	0.217
18	603349.107	9207252.377	0.173	0.218
19	603309.472	9207091.293	0.088	0.116
20	603315.555	9207118.665	0.075	0.133
21	603362.189	9207096.869	0.226	0.217
22	605560.883	9207835.721	0.134	0.257
23	605608.306	9207835.728	0.264	0.351
24	605602.747	9207820.161	0.225	0.347

ID Sampel	Koordinat		NDVI Citra	NDVI Kamera IR
	X (m)	Y (m)		
25	605639.440	9207870.569	0.346	0.371
26	605637.958	9207877.982	0.346	0.348
27	605669.463	9207886.136	0.434	0.417
28	609665.697	9205605.023	0.098	0.150
29	609657.134	9205635.180	0.117	0.157
30	609653.411	9205662.730	0.147	0.236
31	609667.559	9205567.793	0.143	0.179
32	609638.519	9205603.534	0.133	0.172
33	609666.070	9205539.498	0.156	0.147
34	609668.304	9205694.004	0.205	0.188
35	616196.773	9207668.652	0.416	0.497
36	616200.083	9207665.011	0.461	0.471
37	616196.773	9207657.397	0.432	0.463
38	616163.671	9207666.004	0.337	0.485
39	616121.301	9207709.698	0.356	0.482
40	616131.231	9207705.395	0.362	0.485
41	595803.914	9205249.936	0.274	0.191
42	595819.609	9205298.831	0.324	0.265
43	595784.598	9205318.751	0.328	0.200
44	590453.921	9209757.910	0.315	0.285
45	590437.288	9209747.283	0.284	0.318
46	590456.231	9209744.049	0.314	0.309
47	590471.015	9209752.828	0.267	0.286
48	590421.117	9209733.423	0.306	0.322
49	590509.710	9209779.163	0.223	0.276
50	590474.481	9209732.961	0.281	0.270
51	590506.244	9209763.570	0.268	0.316

ID Sampel	Koordinat		NDVI Citra	NDVI Kamera IR
	X (m)	Y (m)		
52	590544.650	9209746.023	0.412	0.331
53	581618.426	9212672.172	0.407	0.333
54	581611.794	9212660.897	0.393	0.317
55	581608.477	9212646.305	0.379	0.325
56	581650.925	9212668.193	0.396	0.331
57	581634.344	9212646.969	0.377	0.314

Lampiran 2. Tabel Nilai NDVI citra Sentinel-2 dan Fase Tanam Padi

ID Sampel	Bujur	Lintang	Keterangan	Fase	NDVI	Tanggal
pin_1	111.928	-7.183	Air	1	0.140	09 Januari 2019
pin_2	111.928	-7.183	Air	1	0.258	
pin_3	111.928	-7.183	Air	1	0.242	
pin_4	111.928	-7.182	Air	1	0.259	
pin_5	111.929	-7.183	Air	1	0.273	
pin_6	111.929	-7.183	Air	1	0.272	
pin_7	111.929	-7.183	Air	1	0.214	
pin_8	111.929	-7.182	Air	1	0.270	
pin_9	111.929	-7.182	Air	1	0.299	
pin_10	111.936	-7.172	Air	1	0.088	
pin_11	111.936	-7.172	Air	1	0.075	
pin_12	111.936	-7.172	Air	1	0.226	
pin_13	111.936	-7.172	Air	1	0.174	
pin_14	111.936	-7.171	Air	1	0.156	
pin_15	111.936	-7.171	Air	1	0.234	
pin_16	111.936	-7.171	Air	1	0.173	
pin_17	111.937	-7.171	Air	1	0.300	
pin_18	111.937	-7.172	Air	1	0.219	
pin_19	111.937	-7.172	Air	1	0.206	
pin_20	111.956	-7.166	Air	1	0.134	
pin_21	111.868	-7.189	Air	1	0.274	
pin_22	111.868	-7.189	Air	1	0.324	
pin_23	111.868	-7.189	Air	1	0.328	
pin_24	111.819	-7.148	Air	1	0.315	
pin_25	111.819	-7.149	Air	1	0.314	
pin_26	111.819	-7.149	Air	1	0.281	

ID Sampel	Bujur	Lintang	Keterangan	Fase	NDVI	Tanggal
pin_27	111.819	-7.148	Air	1	0.267	
pin_28	111.820	-7.148	Air	1	0.268	
pin_29	111.820	-7.148	Air	1	0.223	
pin_1_2	111.927	-7.184	Air	1	0.296	
pin_2_2	111.927	-7.184	Air	1	0.238	
pin_3_2	111.926	-7.183	Air	1	0.186	
pin_4_2	111.926	-7.184	Air	1	0.330	
pin_5_2	111.930	-7.184	Air	1	0.240	
pin_6_2	111.931	-7.184	Air	1	0.149	
pin_7_2	111.932	-7.193	Air	1	0.017	
pin_8_2	111.931	-7.192	Air	1	0.054	
pin_9_2	111.932	-7.191	Air	1	0.170	
pin_11_2	111.986	-7.170	Air	1	0.222	
pin_12_2	111.984	-7.172	Air	1	0.271	
pin_13_2	111.985	-7.166	Air	1	0.208	
pin_1	111.928	-7.183	Vegetatif 1	2	0.706	03 Februari 2019
pin_2	111.928	-7.183	Vegetatif 1	2	0.638	
pin_3	111.928	-7.183	Vegetatif 1	2	0.622	
pin_4	111.928	-7.182	Vegetatif 1	2	0.707	
pin_5	111.929	-7.183	Vegetatif 1	2	0.702	
pin_6	111.929	-7.183	Vegetatif 1	2	0.736	
pin_7	111.929	-7.183	Vegetatif 1	2	0.758	
pin_8	111.929	-7.182	Vegetatif 1	2	0.731	
pin_9	111.929	-7.182	Vegetatif 1	2	0.621	
pin_12	111.936	-7.172	Vegetatif 1	2	0.566	
pin_17	111.937	-7.171	Vegetatif 1	2	0.595	
pin_18	111.937	-7.172	Vegetatif 1	2	0.667	
pin_19	111.937	-7.172	Vegetatif 1	2	0.663	

ID Sampel	Bujur	Lintang	Keterangan	Fase	NDVI	Tanggal
pin_21	111.868	-7.189	Vegetatif 1	2	0.642	
pin_22	111.868	-7.189	Vegetatif 1	2	0.728	
pin_23	111.868	-7.189	Vegetatif 1	2	0.755	
pin_24	111.819	-7.148	Vegetatif 1	2	0.629	
pin_25	111.819	-7.149	Vegetatif 1	2	0.625	
pin_26	111.819	-7.149	Vegetatif 1	2	0.657	
pin_27	111.819	-7.148	Vegetatif 1	2	0.608	
pin_28	111.820	-7.148	Vegetatif 1	2	0.688	
pin_29	111.820	-7.148	Vegetatif 1	2	0.674	
pin_1_2	111.927	-7.184	Vegetatif 1	2	0.715	
pin_2_2	111.927	-7.184	Vegetatif 1	2	0.673	
pin_3_2	111.926	-7.183	Vegetatif 1	2	0.679	
pin_4_2	111.926	-7.184	Vegetatif 1	2	0.703	
pin_5_2	111.930	-7.184	Vegetatif 1	2	0.801	
pin_6_2	111.931	-7.184	Vegetatif 1	2	0.625	
pin_7_2	111.932	-7.193	Vegetatif 1	2	0.666	
pin_8_2	111.931	-7.192	Vegetatif 1	2	0.698	
pin_9_2	111.932	-7.191	Vegetatif 1	2	0.671	
pin_10_2	111.985	-7.168	Vegetatif 1	2	0.743	
pin_11_2	111.986	-7.170	Vegetatif 1	2	0.672	
pin_12_2	111.984	-7.172	Vegetatif 1	2	0.668	
pin_13_2	111.985	-7.166	Vegetatif 1	2	0.660	
pin_1	111.928	-7.183	Vegetatif 2	3	0.859	23 Februari 2019
pin_2	111.928	-7.183	Vegetatif 2	3	0.837	
pin_3	111.928	-7.183	Vegetatif 2	3	0.839	
pin_4	111.928	-7.182	Vegetatif 2	3	0.875	
pin_5	111.929	-7.183	Vegetatif 2	3	0.810	
pin_6	111.929	-7.183	Vegetatif 2	3	0.813	

ID Sampel	Bujur	Lintang	Keterangan	Fase	NDVI	Tanggal
pin_7	111.929	-7.183	Vegetatif 2	3	0.848	
pin_8	111.929	-7.182	Vegetatif 2	3	0.828	
pin_9	111.929	-7.182	Vegetatif 2	3	0.820	
pin_10	111.936	-7.172	Vegetatif 2	3	0.755	
pin_11	111.936	-7.172	Vegetatif 2	3	0.748	
pin_12	111.936	-7.172	Vegetatif 2	3	0.833	
pin_13	111.936	-7.172	Vegetatif 2	3	0.769	
pin_14	111.936	-7.171	Vegetatif 2	3	0.727	
pin_15	111.936	-7.171	Vegetatif 2	3	0.735	
pin_16	111.936	-7.171	Vegetatif 2	3	0.758	
pin_17	111.937	-7.171	Vegetatif 2	3	0.676	
pin_18	111.937	-7.172	Vegetatif 2	3	0.834	
pin_19	111.937	-7.172	Vegetatif 2	3	0.848	
pin_20	111.956	-7.166	Vegetatif 2	3	0.622	
pin_21	111.868	-7.189	Vegetatif 2	3	0.849	
pin_22	111.868	-7.189	Vegetatif 2	3	0.877	
pin_23	111.868	-7.189	Vegetatif 2	3	0.872	
pin_24	111.819	-7.148	Vegetatif 2	3	0.805	
pin_25	111.819	-7.149	Vegetatif 2	3	0.810	
pin_26	111.819	-7.149	Vegetatif 2	3	0.838	
pin_27	111.819	-7.148	Vegetatif 2	3	0.818	
pin_28	111.820	-7.148	Vegetatif 2	3	0.792	
pin_29	111.820	-7.148	Vegetatif 2	3	0.787	
pin_1_2	111.927	-7.184	Vegetatif 2	3	0.861	
pin_2_2	111.927	-7.184	Vegetatif 2	3	0.846	
pin_3_2	111.926	-7.183	Vegetatif 2	3	0.863	
pin_4_2	111.926	-7.184	Vegetatif 2	3	0.836	
pin_5_2	111.930	-7.184	Vegetatif 2	3	0.839	

ID Sampel	Bujur	Lintang	Keterangan	Fase	NDVI	Tanggal
pin_6_2	111.931	-7.184	Vegetatif 2	3	0.811	
pin_7_2	111.932	-7.193	Vegetatif 2	3	0.808	
pin_8_2	111.931	-7.192	Vegetatif 2	3	0.855	
pin_9_2	111.932	-7.191	Vegetatif 2	3	0.840	
pin_10_2	111.985	-7.168	Vegetatif 2	3	0.769	
pin_11_2	111.986	-7.170	Vegetatif 2	3	0.823	
pin_12_2	111.984	-7.172	Vegetatif 2	3	0.821	
pin_13_2	111.985	-7.166	Vegetatif 2	3	0.824	
pin_1	111.928	-7.183	Generatif 1	4	0.814	05 Maret 2019
pin_2	111.928	-7.183	Generatif 1	4	0.813	
pin_3	111.928	-7.183	Generatif 1	4	0.827	
pin_4	111.928	-7.182	Generatif 1	4	0.808	
pin_5	111.929	-7.183	Generatif 1	4	0.749	
pin_6	111.929	-7.183	Generatif 1	4	0.767	
pin_7	111.929	-7.183	Generatif 1	4	0.804	
pin_8	111.929	-7.182	Generatif 1	4	0.752	
pin_9	111.929	-7.182	Generatif 1	4	0.783	
pin_10	111.936	-7.172	Generatif 1	4	0.813	
pin_11	111.936	-7.172	Generatif 1	4	0.794	
pin_12	111.936	-7.172	Generatif 1	4	0.826	
pin_13	111.936	-7.172	Generatif 1	4	0.756	
pin_14	111.936	-7.171	Generatif 1	4	0.722	
pin_15	111.936	-7.171	Generatif 1	4	0.760	
pin_16	111.936	-7.171	Generatif 1	4	0.744	
pin_17	111.937	-7.171	Generatif 1	4	0.644	
pin_18	111.937	-7.172	Generatif 1	4	0.817	
pin_19	111.937	-7.172	Generatif 1	4	0.821	
pin_20	111.956	-7.166	Generatif 1	4	0.710	

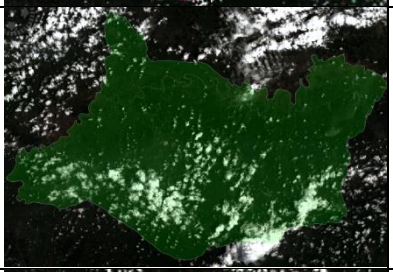
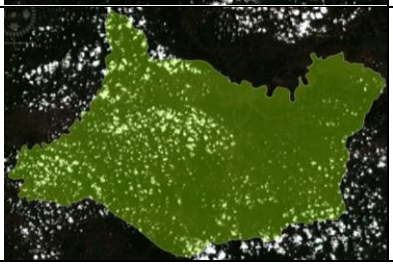
ID Sampel	Bujur	Lintang	Keterangan	Fase	NDVI	Tanggal
pin_21	111.868	-7.189	Generatif 1	4	0.827	
pin_22	111.868	-7.189	Generatif 1	4	0.829	
pin_23	111.868	-7.189	Generatif 1	4	0.815	
pin_24	111.819	-7.148	Generatif 1	4	0.883	
pin_25	111.819	-7.149	Generatif 1	4	0.887	
pin_26	111.819	-7.149	Generatif 1	4	0.895	
pin_27	111.819	-7.148	Generatif 1	4	0.885	
pin_28	111.820	-7.148	Generatif 1	4	0.827	
pin_29	111.820	-7.148	Generatif 1	4	0.805	
pin_1_2	111.927	-7.184	Generatif 1	4	0.822	
pin_2_2	111.927	-7.184	Generatif 1	4	0.839	
pin_3_2	111.926	-7.183	Generatif 1	4	0.830	
pin_4_2	111.926	-7.184	Generatif 1	4	0.813	
pin_5_2	111.930	-7.184	Generatif 1	4	0.785	
pin_6_2	111.931	-7.184	Generatif 1	4	0.753	
pin_7_2	111.932	-7.193	Generatif 1	4	0.733	
pin_8_2	111.931	-7.192	Generatif 1	4	0.786	
pin_9_2	111.932	-7.191	Generatif 1	4	0.774	
pin_10_2	111.985	-7.168	Generatif 1	4	0.716	
pin_11_2	111.986	-7.170	Generatif 1	4	0.848	
pin_12_2	111.984	-7.172	Generatif 1	4	0.781	
pin_13_2	111.985	-7.166	Generatif 1	4	0.851	
pin_1	111.928	-7.183	Generatif 2	5	0.514	30 Maret 2019
pin_2	111.928	-7.183	Generatif 2	5	0.475	
pin_3	111.928	-7.183	Generatif 2	5	0.475	
pin_4	111.928	-7.182	Generatif 2	5	0.490	
pin_5	111.929	-7.183	Generatif 2	5	0.395	
pin_6	111.929	-7.183	Generatif 2	5	0.318	

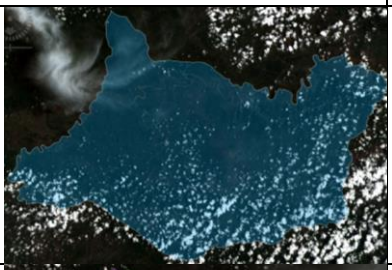
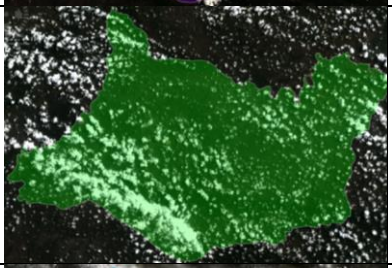
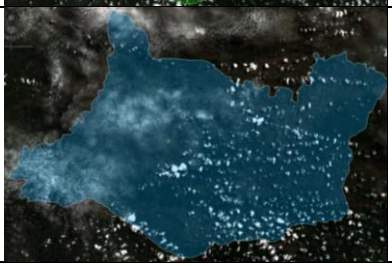
ID Sampel	Bujur	Lintang	Keterangan	Fase	NDVI	Tanggal
pin_7	111.929	-7.183	Generatif 2	5	0.299	
pin_8	111.929	-7.182	Generatif 2	5	0.300	
pin_9	111.929	-7.182	Generatif 2	5	0.426	
pin_10	111.936	-7.172	Generatif 2	5	0.470	
pin_11	111.936	-7.172	Generatif 2	5	0.451	
pin_12	111.936	-7.172	Generatif 2	5	0.482	
pin_13	111.936	-7.172	Generatif 2	5	0.471	
pin_14	111.936	-7.171	Generatif 2	5	0.481	
pin_15	111.936	-7.171	Generatif 2	5	0.488	
pin_16	111.936	-7.171	Generatif 2	5	0.514	
pin_17	111.937	-7.171	Generatif 2	5	0.431	
pin_18	111.937	-7.172	Generatif 2	5	0.462	
pin_19	111.937	-7.172	Generatif 2	5	0.440	
pin_20	111.956	-7.166	Generatif 2	5	0.476	
pin_21	111.868	-7.189	Generatif 2	5	0.524	
pin_22	111.868	-7.189	Generatif 2	5	0.514	
pin_23	111.868	-7.189	Generatif 2	5	0.381	
pin_24	111.819	-7.148	Generatif 2	5	0.584	
pin_25	111.819	-7.149	Generatif 2	5	0.574	
pin_26	111.819	-7.149	Generatif 2	5	0.539	
pin_27	111.819	-7.148	Generatif 2	5	0.594	
pin_28	111.820	-7.148	Generatif 2	5	0.361	
pin_29	111.820	-7.148	Generatif 2	5	0.251	
pin_1_2	111.927	-7.184	Generatif 2	5	0.521	
pin_2_2	111.927	-7.184	Generatif 2	5	0.552	
pin_3_2	111.926	-7.183	Generatif 2	5	0.562	
pin_4_2	111.926	-7.184	Generatif 2	5	0.523	
pin_5_2	111.930	-7.184	Generatif 2	5	0.415	

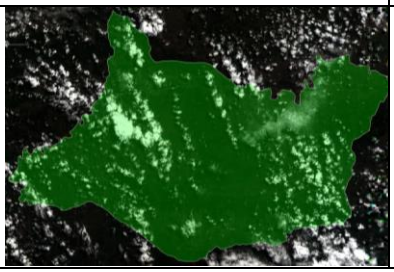
ID Sampel	Bujur	Lintang	Keterangan	Fase	NDVI	Tanggal
pin_6_2	111.931	-7.184	Generatif 2	5	0.505	
pin_7_2	111.932	-7.193	Generatif 2	5	0.203	
pin_8_2	111.931	-7.192	Generatif 2	5	0.199	
pin_9_2	111.932	-7.191	Generatif 2	5	0.190	
pin_10_2	111.985	-7.168	Generatif 2	5	0.248	
pin_11_2	111.986	-7.170	Generatif 2	5	0.375	
pin_12_2	111.984	-7.172	Generatif 2	5	0.303	
pin_13_2	111.985	-7.166	Generatif 2	5	0.450	
pin_1	111.928	-7.183	Bera	6	0.383	04 April 2019
pin_2	111.928	-7.183	Bera	6	0.302	
pin_3	111.928	-7.183	Bera	6	0.292	
pin_4	111.928	-7.182	Bera	6	0.204	
pin_5	111.929	-7.183	Bera	6	0.123	
pin_6	111.929	-7.183	Bera	6	0.135	
pin_7	111.929	-7.183	Bera	6	0.111	
pin_8	111.929	-7.182	Bera	6	0.181	
pin_9	111.929	-7.182	Bera	6	0.227	
pin_10	111.936	-7.172	Bera	6	0.394	
pin_11	111.936	-7.172	Bera	6	0.406	
pin_12	111.936	-7.172	Bera	6	0.437	
pin_13	111.936	-7.172	Bera	6	0.401	
pin_14	111.936	-7.171	Bera	6	0.333	
pin_15	111.936	-7.171	Bera	6	0.381	
pin_16	111.936	-7.171	Bera	6	0.393	
pin_17	111.937	-7.171	Bera	6	0.329	
pin_18	111.937	-7.172	Bera	6	0.345	

ID Sampel	Bujur	Lintang	Keterangan	Fase	NDVI	Tanggal
pin_19	111.937	-7.172	Bera	6	0.323	
pin_20	111.956	-7.166	Bera	6	0.454	
pin_21	111.868	-7.189	Bera	6	0.424	
pin_22	111.868	-7.189	Bera	6	0.216	
pin_23	111.868	-7.189	Bera	6	0.307	
pin_24	111.819	-7.148	Bera	6	0.471	
pin_25	111.819	-7.149	Bera	6	0.475	
pin_26	111.819	-7.149	Bera	6	0.457	
pin_27	111.819	-7.148	Bera	6	0.508	
pin_28	111.820	-7.148	Bera	6	0.271	
pin_29	111.820	-7.148	Bera	6	0.224	
pin_1_2	111.927	-7.184	Bera	6	0.274	
pin_2_2	111.927	-7.184	Bera	6	0.203	
pin_3_2	111.926	-7.183	Bera	6	0.223	
pin_4_2	111.926	-7.184	Bera	6	0.313	
pin_5_2	111.930	-7.184	Bera	6	0.159	
pin_6_2	111.931	-7.184	Bera	6	0.115	
pin_7_2	111.932	-7.193	Bera	6	0.128	
pin_8_2	111.931	-7.192	Bera	6	0.143	
pin_9_2	111.932	-7.191	Bera	6	0.123	
pin_10_2	111.985	-7.168	Bera	6	0.070	
pin_11_2	111.986	-7.170	Bera	6	0.010	
pin_12_2	111.984	-7.172	Bera	6	0.043	
pin_13_2	111.985	-7.166	Bera	6	-0.005	

Lampiran 3. Kondisi Awan Tiap Tanggal Citra

Tanggal (DD/MM/ YYYY)	**Kondisi Awan**	**Keterangan**
15/12/2018		Tutupan awan ≥ 30%
09/01/2019		Tutupan awan ≥ 30%
03/02/2019		Tutupan awan ≥ 30% tersebar hampir di semua Kabupaten Bojonegoro
23/02/2019		Tutupan awan ≥ 30%

Tanggal (DD/MM/ YYYY)	Kondisi Awan	Keterangan
05/03/2019		Tutupan awan ≥ 30%
30/03/2019		Tutupan awan ≤ 30%
04/04/2019		Tutupan awan ≥ 30% tersebar hampir di semua Kabupaten Bojonegoro
24/04/2019		Tutupan awan ≥ 30%

Tanggal (DD/MM/ YYYY)	Kondisi Awan	Keterangan
09/05/2019		Tutupan awan ≥ 30%

Lampiran 4. Form Lapangan

Kecamatan	**Koordinat**		**Umur Tanam**	**Fase Tanam**	**Foto**
	Latitude	***Longitude***			
25 Januari 2020					
Kapas	-7.18264	111.92884	8 hari	Air	

Kecamatan	**Koordinat**			**Foto**

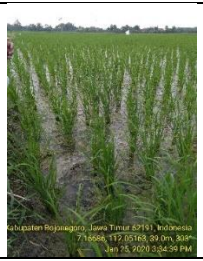
	Latitude	***Longitude***	**Umur Tanam**	**Fase Tanam**	
Kapas	-7.18231	111.92833	6 hari	Air	

Kecamatan	Koordinat		Umur Tanam	Fase Tanam	Foto
	Latitude	*Longitude*			
Kapas	-7.18232	111.92834	-	Air	
25 Januari 2020					

Kecamatan	Koordinat		Umur Tanam	Fase Tanam	Foto
	Latitude	*Longitude*			
25 Januari 2020					
Bojonegoro	-7.17222	111.93667	30 hari	Vegetatif	
Bojonegoro	-7.17639	111.93444	30 hari	Vegetatif	

Kecamatan	Koordinat		Umur Tanam	Fase Tanam	Foto
	Latitude	*Longitude*			
25 Januari 2020					
Bojonegoro	-7.17167	111.93639	3 bulan	Bera	
Balen	-7.16537	111.95637	2 bulan	Generatif	

Kecamatan	Koordinat		Umur Tanam	Fase Tanam	Foto
	Latitude	*Longitude*			
25 Januari 2020					
Balen	-7.16541	111.95629	2,5 bulan	Generatif	
Sumberrejo	-7.18553	111.99339	7 hari	Air	

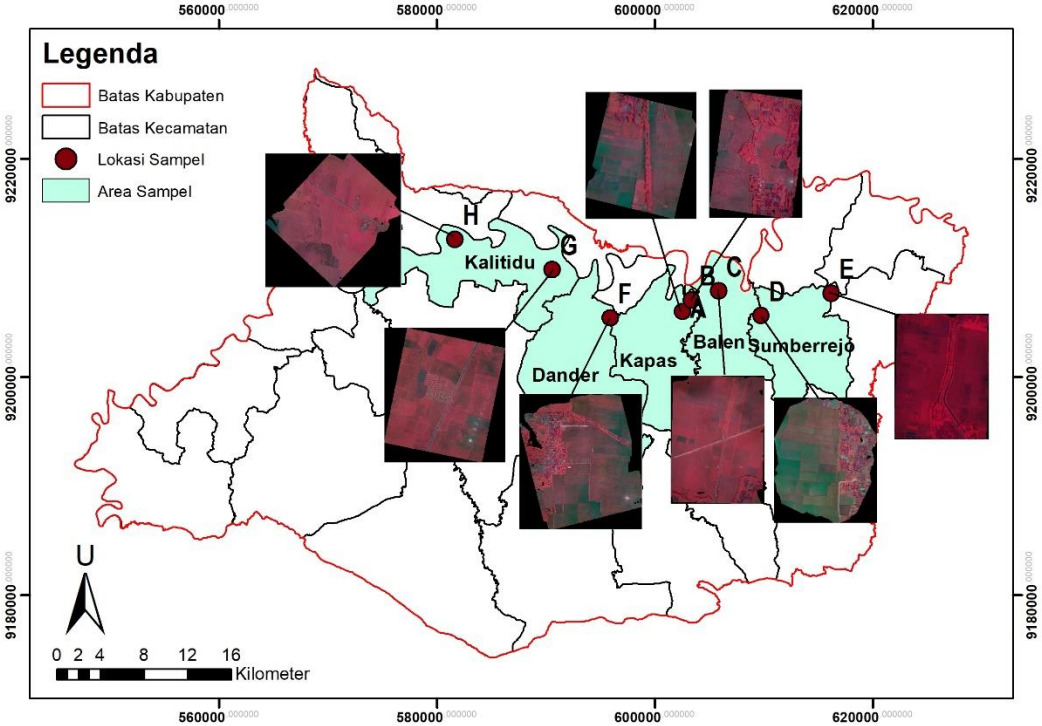
Kecamatan	Koordinat		Umur Tanam	Fase Tanam	Foto
	Latitude	*Longitude*			
25 Januari 2020					
Kepohbaru	-7.16686	112.05163	15 hari	Air	
26 Januari 2020					
Dander	-7.18889	111.8675	Baru	Air	

Kecamatan	Koordinat		Umur Tanam	Fase Tanam	Foto
	Latitude	*Longitude*			
26 Januari 2020					
Dander	-7.18889	111.86778	2 Minggu	Air	
Dander	-7.18861	111.86778	15 Hari	Air	

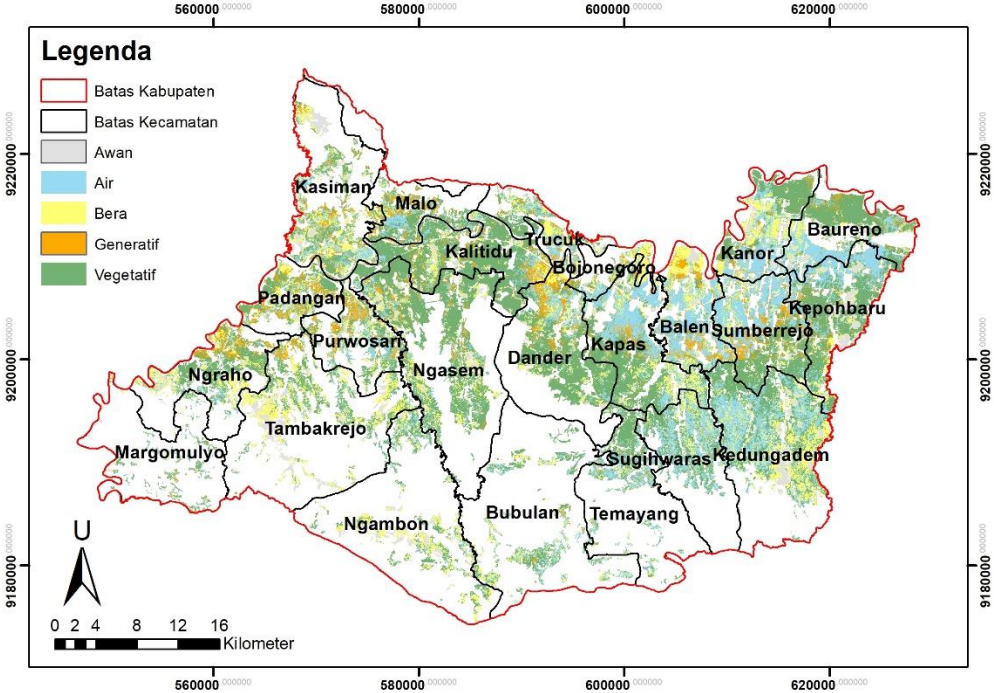
Kecamatan	Koordinat		Umur Tanam	Fase Tanam	Foto
	Latitude	*Longitude*			
Dander	-7.18833	111.86778	3 Minggu	Vegetatif	
Kalitidu	-7.14902	111.82052	1 bulan	Vegetatif	

Kecamatan	Koordinat		Umur Tanam	Fase Tanam	Foto
	Latitude	*Longitude*			
Kalitidu	-7.12157	111.73879	2 bulan	Generatif	

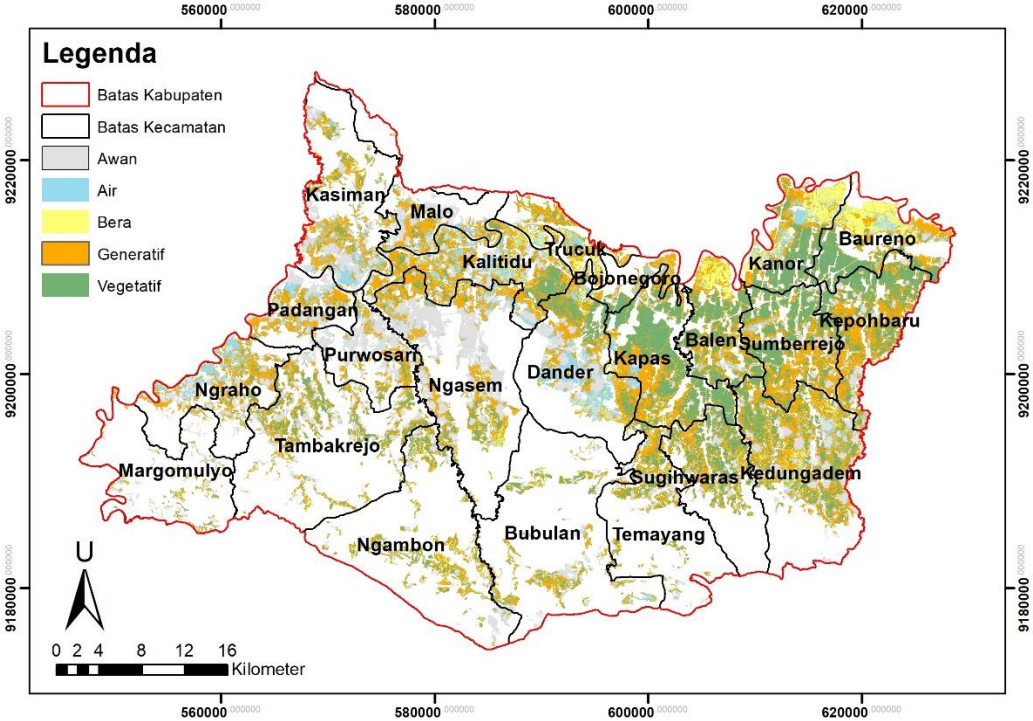
Lampiran 5. Lokasi Titik Sampel dan Titik Penerbangan Drone



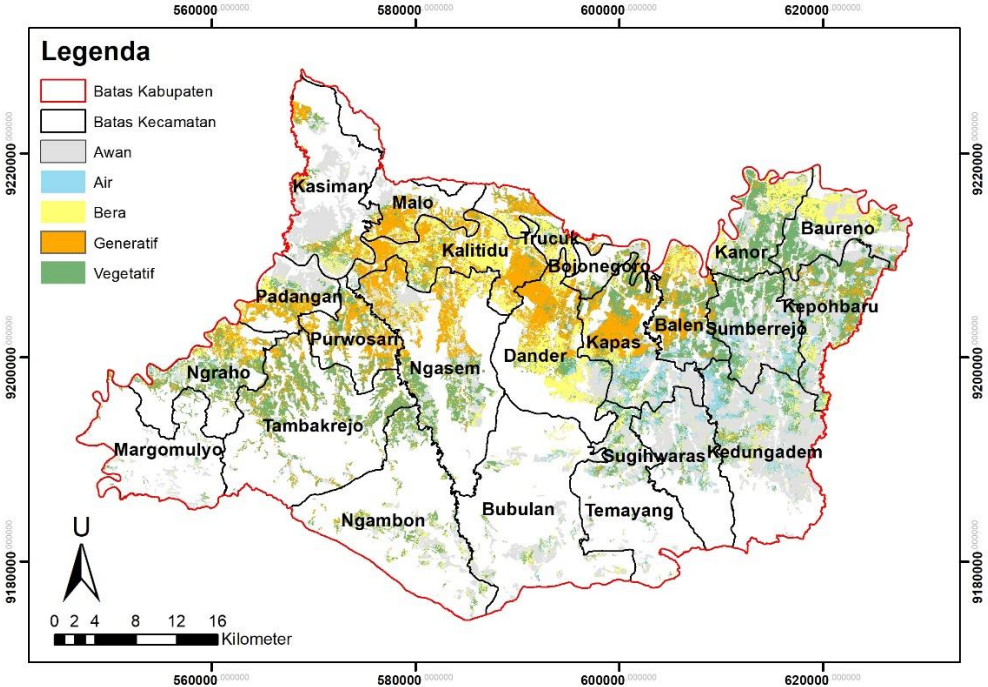
Lampiran 6. Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 09 Januari 2019



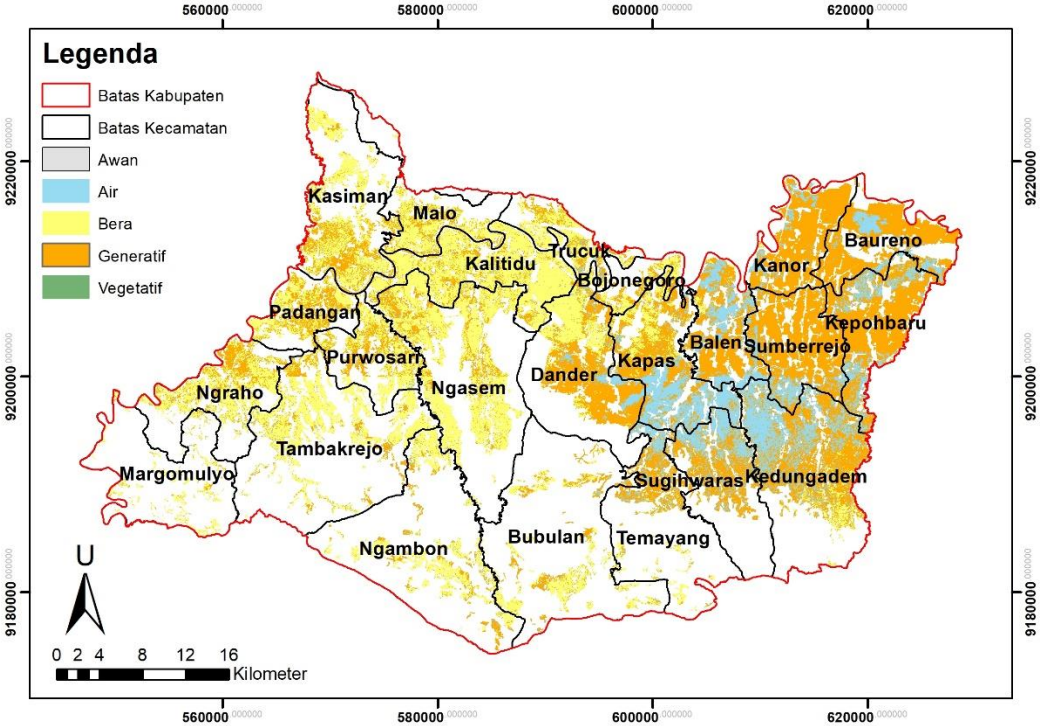
Lampiran 7. Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 23 Februari 2019



Lampiran 8. Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 05 Maret 2019



Lampiran 9. Klasifikasi Fase Tanam Padi Kabupaten Bojonegoro pada Tanggal 30 Maret 2019



BIODATA PENULIS

Penulis bernama Rizki Hari Kurniawan, lahir di Sidoarjo pada tanggal 29 Agustus 1997 dan merupakan anak bungsu dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di MI. Ma'arif Candi, Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2004 – 2010 SMP Negeri 1 Candi, Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2010 – 2013, dan SMA Negeri 4 Sidoarjo pada tahun 2013 – 2016. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan kuliah jenjang Strata-1 Program Studi Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian ITS melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan terdaftar dengan NRP 03311640000015. Di Teknik Geomatika, penulis memilih fokus pada bidang kajian ilmu Geospasial. Selama menjadi mahasiswa S-1, penulis aktif pada organisasi HIMAGE-ITS sebagai Badan Perwakilan Mahasiswa (BPM) HIMAGE-ITS periode 2017-2018 dan 2019. Penulis pernah mengikuti kegiatan keilmiahan seperti Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) terdanai pada tahun 2018 dan kegiatan sosial-masyarakat dengan menjadi *volunteer* Kajian Isu Sosial Masyarakat yang diadakan oleh BEM-ITS periode 2018-2019. Penulis juga aktif dalam kegiatan Internasionalisasi seperti menjadi panitia pada *Joint Workshop for Global Engineers in Asia* (JWGEA) & *CommTECH IDEAS* (2017), menjadi peserta *ITS Goes Global: Singapore Batch 2* (2017), dan menjadi panitia *The 4th Geomatics International Conference* (GEOICON) (2019). Menginjak tahun keempat perkuliahan, penulis berkesempatan mengikuti program *Fast Track* yang memungkinkan mengambil program pascasarjana S2 Teknik Geomatika ITS saat masih S1.