

Analisis Kebutuhan Air Petak Tersier Berdasarkan Hasil Identifikasi Fase Tanam Menggunakan Citra Sentinel-2 dan *Google Earth Engine* (Studi Kasus: Daerah Irigasi Sampean Kab.Situbondo)

Analysis of Tertiary Field Crop Water Demand Based on Identification of Planting Phase Using Sentinel-2 Imagery and Google Earth Engine (Case Study: Sampean Irrigation Area, Situbondo District)

Ardia Tiara Rahmi, Bangun Muljo Sukojo*, Noorlaila Hayati

Departemen Teknik Geomatika, FTSLK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

*Korespondensi penulis: bangun_ms@geodesy.its.ac.id

Diterima: 13022021; Diperbaiki: 22082021; Disetujui: 01092021; Dipublikasi: 10012022

Abstrak: Terdapat beberapa wilayah di Indonesia yang kekurangan persediaan air untuk kebutuhan irigasi akibat pengaruh iklim, sehingga beberapa di antaranya sering kali mengalami gagal panen karena kekurangan air. Salah satu wilayah yang mengalami masalah tersebut adalah Kabupaten Situbondo. Hal ini dapat disebabkan karena jumlah debit yang keluar dari intake tidak mampu memenuhi seluruh kebutuhan air di petak sawah. Kurniawan (2020) sebelumnya sudah melakukan penelitian analisis fase tanam menggunakan algoritma NDVI pada citra Sentinel 2. Namun proses pengolahan data pada penelitian tersebut membutuhkan kemampuan perangkat pengolah data yang tinggi dan membutuhkan ruang penyimpanan data yang besar sehingga membutuhkan waktu lebih lama pula dalam pemrosesan datanya. Pada penelitian kali ini, peneliti akan menggunakan perangkat pengolah citra berbasis Cloud yaitu *Google Earth Engine* dimana pemrosesan dan penyimpanan data dilakukan pada jaringan internet. Penelitian ini menggunakan indeks vegetasi NDVI dari Citra Sentinel 2 sebagai instrumen untuk mengidentifikasi fase tanam padi dan membuat peta distribusi fase tanam sebagai pedoman untuk menghitung kebutuhan air di petak-petak tersier D.I. Sampean. Nilai NDVI tertinggi terjadi pada tanggal 26 Januari 2019 yaitu Fase Tanam *Mid-Season Stage 1* dengan luas sawah 756.91 Ha dan nilai NDVI terendah didapat pada akhir fase tanam tanggal 11 Maret 2020 dengan luas sawah 489.09 Ha. Hasil klasifikasi terbimbing menggunakan metode *Machine Learning Random Forest* memberikan akurasi yang sangat baik dengan nilai OA 100% dan kappa sebesar 1 pada citra akuisisi 12 Desember 2019. Debit kebutuhan irigasi tertinggi terjadi pada tanggal 25 Februari 2020 sebesar 253.20 lt/dt dan debit kebutuhan air irigasi terendah terjadi pada tanggal 11 Maret yang bertepatan dengan masa panen. Berdasarkan hasil perhitungan peneliti, kebutuhan air irigasi pada bulan Desember hingga bulan Januari sudah terpenuhi oleh curah hujan yang terjadi di wilayah UPT Pengairan Situbondo sehingga tidak membutuhkan debit irigasi dari saluran irigasi.

Copyright © 2022 Geoid. All rights reserved.

Abstract: There are several areas in Indonesia that lack of water supply for irrigation needs due to climate influence, so that some of them often experience crop failure due to lack of water. One of the areas experiencing this problem is Situbondo Regency. Kurniawan (2020) previously conducted a planting phase analysis research using the NDVI algorithm on Sentinel 2 images. However, the data processing in this study requires high data processing capabilities and requires large data storage space so it also takes longer in processing the data. In this research, researchers will use a cloud-based image processing device, namely *Google Earth Engine*, where data processing and storage is carried out on the internet network. This study uses the NDVI vegetation index from Sentinel 2 imagery as an instrument to identify rice planting phases and create a planting phase distribution map as a guideline for calculating water demand in the tertiary plots of D.I. You. The highest NDVI value occurred on 26 January 2019, namely the *Mid-Season Stage 1 Planting Phase* with a rice field area of 756.91 Ha and the lowest NDVI value was obtained at the end of the planting phase on 11 March 2020 with a rice field area of 489.09 Ha. The results of supervised classification using the *Machine Learning Random Forest* method provide excellent accuracy with an OA value of 100% and a kappa of 1 in the acquisition image on December 12, 2019. The highest discharge for irrigation needs occurs on February 25, 2020 at 253.20 l/s and discharge of irrigation water needs. The lowest occurred on March 11, which coincides with the harvest period. Based on the results of the researchers' calculations, the need for irrigation water from December to January has been met by the rainfall that occurred in the UPT Pengairan Situbondo area so that it does not need irrigation discharge from the irrigation channel.

Kata kunci: Fase Tanam Padi; Kebutuhan Air; NDVI; *Random Forest*; Sentinel-2

Cara untuk sitasi: Rahmi, A. T., Sukojo, B. M., & Hayati, N. (2021). Analisis Kebutuhan Air Petak Tersier Berdasarkan Hasil Identifikasi Fase Tanam Menggunakan Citra Sentinel-2 dan Google Earth Engine (Studi Kasus : Daerah Irigasi Sampean Kab. Situbondo). *Geoid*, 17(1), 1 - 20.

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memberikan komitmen tinggi terhadap pembangunan ketahanan pangan. UU No.7 tahun 1996 tentang pangan menyatakan bahwa perwujudan ketahanan pangan merupakan kewajiban pemerintah bersama masyarakat. Salah satu upaya untuk meningkatkan ketahanan pangan adalah dengan pengelolaan sistem irigasi yang efisien. Irigasi merupakan suatu usaha pemanfaatan air yang tersedia di sungai-sungai atau sumber air lainnya untuk pemenuhan kebutuhan air pertanian dengan menggunakan jaringan irigasi sebagai prasarana pembagi air tersebut (Partowiyoto 1977 dalam Prihandono, 2005).

Tanaman padi dapat ditanam atau di produksi saat musim penghujan atau sekitar musim tanam 1 dan 2 (Musim Tanam I dan Musim Tanam II). Penanaman dua kali musim tanam dilakukan khusus pada daerah yang memiliki kecukupan air (daerah sumber air, sekitar waduk/danau, atau daerah dengan curah hujan tinggi). Untuk daerah yang kurang air atau hanya mengandalkan air hujan hanya dapat menerapkan sistem satu kali musim tanam (Rohman & Maharani, 2017). Kabupaten Situbondo merupakan salah satu kabupaten yang seluruh lahan pertaniannya berada di dataran rendah dan berada di lokasi bayangan hujan sehingga curah hujan hariannya sangat rendah dan penguapan/evapotranspirasinya tinggi. Hal tersebut menyebabkan sebagian besar lahan sawah di Kabupaten Situbondo hanya mampu menerapkan sistem satu kali musim tanam padi dan mengandalkan irigasi Sampean Lama yang bersumber di Kabupaten Bondowoso untuk memenuhi kebutuhan airnya. Daerah irigasi di Kabupaten Situbondo memulai Musim Tanam padi (MT I) pada Bulan Desember yang bertepatan dengan musim penghujan, serta mengikuti pola tanam yang sudah ditetapkan Pemerintah yaitu padi-palawija-palawija (Dinas PUPR Kabupaten Situbondo, 2015).

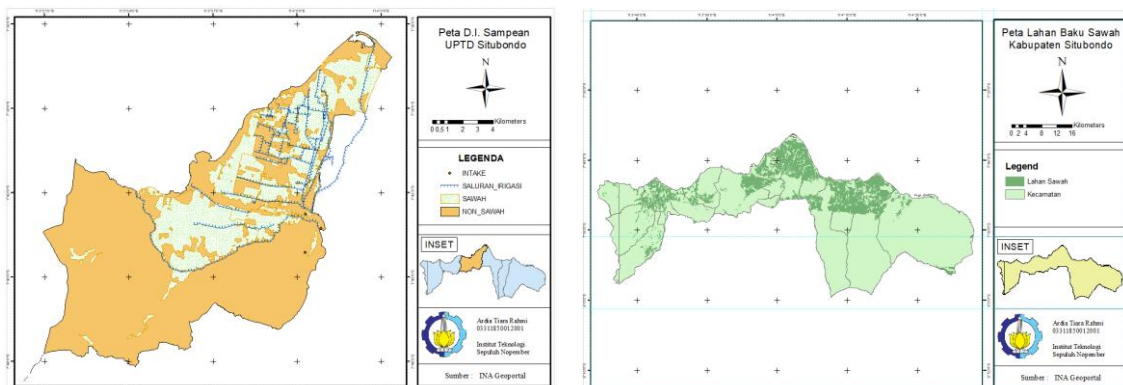
Masalah yang sering dijumpai pada jaringan irigasi Kabupaten Situbondo adalah terjadinya kasus kekurangan air di beberapa petak sawah. Adanya ketidaksesuaian perhitungan kebutuhan air dengan masa pertumbuhan padi mengakibatkan penyaluran air irigasi tidak merata ke semua petak sawah di D.I Sampean Lama Kab. Situbondo. Selain itu, pembagian air terutama pada awal musim tanam padi di tahun 2020 belum bisa merata karena pada awal Bulan Desember intensitas hujan di daerah hulu/sumber masih rendah (UPTD Daerah Irigasi Sampean Lama 2020). Jumlah kebutuhan air tanaman padi dapat ditinjau berdasarkan fase pertumbuhan / fase tanamnya karena jumlahnya akan berbeda di setiap fase.

Salah satu metode pemantauan tanaman padi atau tanaman semusim lainnya adalah *monitoring* melalui data satelit penginderaan jauh yang memiliki resolusi temporal tinggi dan resolusi spasial yang memadai (1-10 meter). Penggunaan citra penginderaan jauh dapat menjelaskan informasi yang lebih detail untuk memantau lahan sawah 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 (Kurniawan, 2020). 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). Analisis fase tumbuh tanaman padi dilakukan setelah lahan sawah berhasil diklasifikasi usia pertumbuhannya menggunakan 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. Penentuan fase tanam pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode FAO (*Food and Agriculture Organization*) yang membagi fase tanam berdasarkan kerapatan daun dan jumlah genangan air pada setiap 10 hari yaitu *Initial Stage*, *Development Stage*, *Mid-Season Stage*, dan *Late Stage* (Allen, 1998).

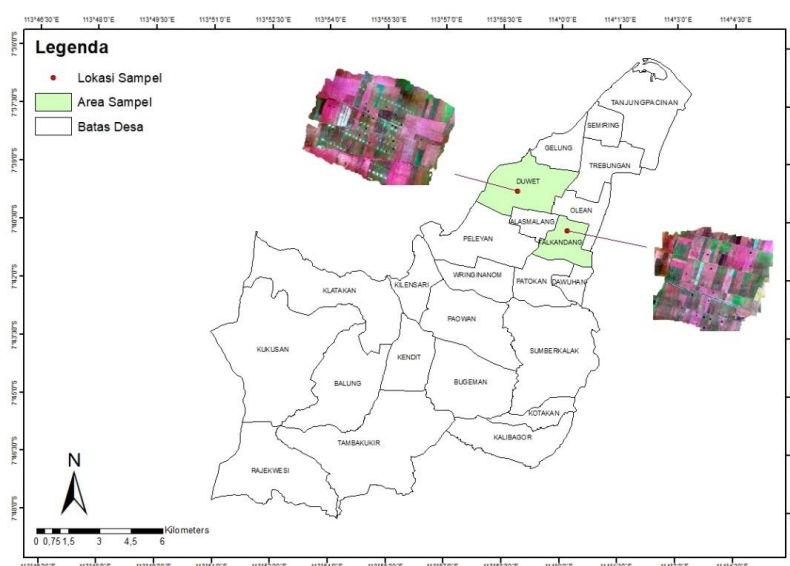
Kurniawan (2020) sebelumnya sudah melakukan penelitian analisis fase tanam menggunakan algoritma NDVI pada citra Sentinel 2. Namun proses pengolahan data pada penelitian tersebut membutuhkan kemampuan perangkat pengolah data yang tinggi dan membutuhkan ruang penyimpanan data yang besar sehingga membutuhkan waktu lebih lama pula dalam pemrosesan datanya. Pada penelitian kali ini, peneliti akan menggunakan perangkat pengolah citra berbasis *Cloud* yaitu *Google Earth Engine*. Komputasi berbasis *Cloud* adalah gabungan antara pemanfaatan teknologi komputer dengan pengembangan berbasis internet. GEE memungkinkan pengguna untuk membuat dan menjalankan algoritma khusus dan komputasi yang cepat sehingga memungkinkan melakukan analisis skala global dengan mudah. Google telah mengarsipkan banyak dataset dan menaunkannya ke mesin *cloud computing* untuk penggunaan open source salah satunya yaitu citra satelit resolusi menengah sentinel 2.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan air irigasi berdasarkan hasil identifikasi fase tanam menggunakan Citra Sentinel 2 selama periode Musim Tanam Padi I di Daerah Irigasi Sampean Lama, UPT Pengairan Situbondo. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi sebaran fase-fase tanam padi beserta rekomendasi debit kebutuhan airnya yang efisien selama periode Musim Tanam I agar dapat digunakan sebagai acuan pengambilan keputusan dalam pengaturan jaringan irigasi di D.I Sampean Lama khususnya UPT Pengairan Situbondo. Data yang dihasilkan berupa peta fase tanam padi dan data statistik kebutuhan air pada setiap petak tersier.

Data dan Metode



Gambar 1. Lokasi penelitian yang berada di UPT Pengairan Kabupaten Situbondo (Sumber : BIG)

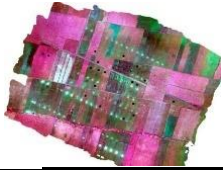
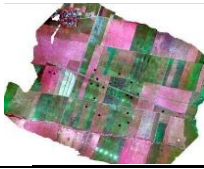
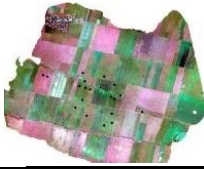


Gambar 2. Lokasi pengambilan data di Desa Duwet dan Desa Talkandang Kabupaten Situbondo (Peneliti, 2021)

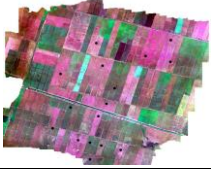
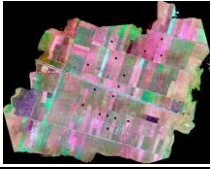
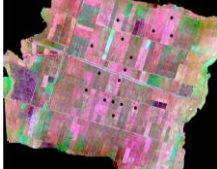
Penelitian ini mengambil studi kasus di Kabupaten Situbondo tepatnya di UPT pengairan Situbondo ($7^{\circ}35' - 7^{\circ}44'$ LS dan $113^{\circ}30' - 114^{\circ}42'$ BT). Wilayah tersebut dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki hamparan sawah yang paling luas dibandingkan dengan UPT lain dan jadwal tanam pada petak-petak tersiernya dilakukan dengan tertib dan hampir serentak. Gambar 1 merupakan gambar lokasi penelitian tersebut.

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer pada penelitian ini adalah data sampel NDVI lapangan menggunakan kamera IR dan fase tanam padi aktual. Gambar 2 merupakan peta lokasi pengambilan data sampel.





Tabel 1. Hasil Pemotretan Kamera IR Lokasi Desa Duwet

Desa	Keterangan	Gambar	Ketinggian wahana
	<i>Flight 1</i>		100 m
Desa Duwet	<i>Flight 2</i>		120 m
	<i>Flight 3</i>		150 m

Tabel 2. Hasil Pemotretan Kamera IR Lokasi Desa Talkandang

Desa	Keterangan	Gambar	Ketinggian wahana
	<i>Flight 4</i>		100 m
Desa Talkandang	<i>Flight 5</i>		120 m
	<i>Flight 6</i>		150 m

Legenda Foto :

-  = Kerapatan vegetasi sangat rendah
-  = Kerapatan vegetasi rendah
-  = Kerapatan vegetasi menengah
-  = Kerapatan vegetasi tinggi

Pemotretan dengan kamera IR dilakukan pada tanggal 12 Desember 2020 pada awal Musim Tanam padi. Adapun pengambilan sampel dilakukan hanya pada 2 desa yaitu Desa Duwet dan Desa Talkandang karena petak-petak sawah di desa-desa lain masih dalam masa istirahat/bera atau masa peralihan di fase bera dari periode palawija. Jika menunggu seluruh wilayah memulai fase tanam padi, pengambilan sampel akan sulit dilakukan karena pada minggu kedua Desember hujan mulai turun setiap harinya. Pada kedua lokasi tersebut, pemotretan dilakukan pada 3 ketinggian yang berbeda yaitu 100 m, 120 m, dan 150 m, sehingga jumlah total pengambilan sampel NDVI dengan kamera IR ada sebanyak 6 (enam) *scene* foto. Adapun hasil foto dari Kamera IR dalam format Red, Green, dan NIR dapat dilihat dalam Tabel 1 dan 2.

Pada Tabel 1, 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.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Fase Tanam Aktual di Titik Sampel

Desa	ID Sampel	Koordinat		Fase Tanam
		X (deg)	Y (deg)	
DUWET	1	113.978406	-7.659400	<i>Initial Stage 2</i>
	2	113.978656	-7.659487	<i>Initial Stage 2</i>
	3	113.980749	-7.659269	<i>Initial Stage 2</i>
	4	113.980881	-7.659755	<i>Initial Stage 2</i>
	5	113.982021	-7.659471	<i>Initial Stage 2</i>
	6	113.982642	-7.659941	<i>Initial Stage 1</i>
	7	113.982994	-7.660568	<i>Initial Stage 1</i>
	8	113.980564	-7.660016	<i>Initial Stage 1</i>
	9	113.980908	-7.660117	<i>Initial Stage 1</i>
	10	113.982429	-7.660643	<i>Initial Stage 1</i>
	11	113.982642	-7.660757	<i>Initial Stage 1</i>
	12	113.984284	-7.661512	<i>Initial Stage 2</i>
	13	113.980739	-7.660825	<i>Initial Stage 1</i>
	14	113.982471	-7.661617	<i>Initial Stage 2</i>
	15	113.982493	-7.662149	<i>Initial Stage 1</i>
	16	113.982042	-7.662298	<i>Initial Stage 1</i>
	17	113.980987	-7.661742	<i>Initial Stage 2</i>
TALKANDANG	18	114.006804	-7.678360	<i>Initial Stage 2</i>
	19	114.004086	-7.678494	<i>Initial Stage 2</i>
	20	114.005888	-7.678983	<i>Initial Stage 2</i>
	21	114.006794	-7.679210	<i>Initial Stage 2</i>
	22	114.004325	-7.679377	<i>Initial Stage 2</i>
	23	114.004766	-7.680266	<i>Initial Stage 1</i>
	24	114.002786	-7.679719	<i>Initial Stage 2</i>
	25	114.003163	-7.681029	<i>Initial Stage 1</i>
	26	114.002513	-7.681857	<i>Initial Stage 1</i>
	27	114.003449	-7.682318	<i>Initial Stage 2</i>
	28	114.003877	-7.682408	<i>Initial Stage 1</i>
	29	114.004298	-7.682522	<i>Initial Stage 2</i>
	30	114.005009	-7.682688	<i>Initial Stage 2</i>
	31	114.003890	-7.683075	<i>Initial Stage 2</i>

Sumber : Hasil Survei Peneliti, 2020

FAO (*Food and Agriculture Organization*) membagi fase tanam berdasarkan kerapatan daun dan jumlah genangan air pada setiap 10 hari untuk menghitung kebutuhan air irigasi yaitu *Initial Stage*, *Development Stage*, *Mid-Season Stage*, dan *Late Stage*. Menurut Allen (1998) dalam *FAO Irrigation and drainage paper*, pada fase *Initial Stage* hanya 10% permukaan tanah yang tertutup daun padi. Seiring dengan pertumbuhannya, terjadi penambahan tinggi batang dan jumlah daun yang menandakan padi mulai memasuki fase Pertumbuhan

atau *Crop Development*. Fase ini ditandai dengan adanya peningkatan klorofil dan kerapatan padi yang beriringan dengan pertumbuhan padi. Tahap ini diawali dari *coverage* daun yang masih menutupi 10% permukaan tanah hinggautupan penuh. Penutupan penuh permukaan tanah oleh daun padi atau puncak kerapatan tanaman padi terjadi di awal pembungaan. Setelah itu, padi mulai memasuki fase Pertengahan Musim Tanam atau *Mid-season Stage*. Fase ini dimulai sejak masautupan daun penuh hingga masa awal kematangan padi. Pada fase ini, kandungan klorofil mencapai nilai tertinggi dan mulai menurun hingga akhir fase. Fase akhir yaitu *Late Season Stage* yang ditandai dengan biji padi yang sudah masak, daun yang menguning hingga proses panen oleh petani.

Lokasi yang dipilih sebagai titik sampel pengamatan fase tanam aktual adalah petak sawah yang ukurannya lebih dari 10 x 10 m, karena resolusi band-band Citra sentinel yang digunakan untuk menghitung algoritma NDVI adalah 10 m. Tabel 3 menunjukkan data fase tanam aktual di lapangan pada lokasi pengambilan sampel foto Kamera IR.

Dari hasil pengambilan sampel di lapangan, didapatkan semua fase tanam padi masih berada pada fase *Intial* atau fase awal dimana kondisi lahan sawah berupa genangan air hingga padi yang daunnya sudah mulai menutup.

Berdasarkan informasi yang didapat dari Dinas Tanaman Pangan dan Holtikultura Situbondo, diketahui jenis padi yang digunakan para petani di Kabupaten Situbondo adalah padi IR 64. IR 64 merupakan merek padi yang diintroduksi pertama kali oleh *The International Rice Research Institute (IRRI)*, suatu institusi yang bergerak secara Internasional dibidang penelitian dan pengembangan padi yang berpusat di Los Banos, Laguna, Philipina. Padi IR 64 adalah padi baik ditanam pada sawah irigasi dataran rendah hingga sedang. Umur tanam padi ini berkisar 110 – 120 hari. (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi 2020).

Tabel 4. Data Sekunder

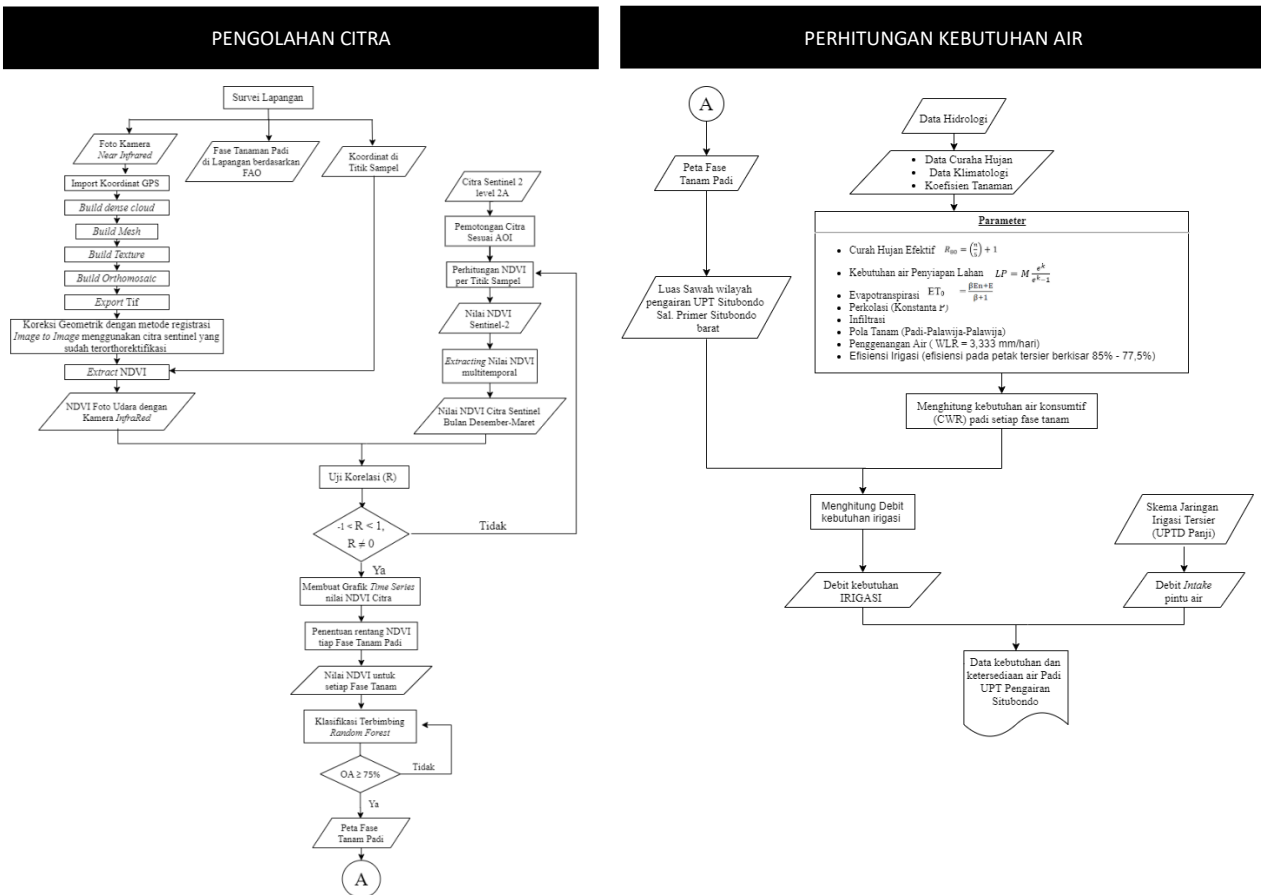
Data	Tahun Terbit	Sumber
Sentinel 2 level 2 A	12 Desember 2019 – 11 Maret 2020 (Selama Musim Tanam padi)	SciHub Copernicus ESA
Peta Lahan Baku Sawah UPT Pengairan Situbondo	Tahun 2020	Dinas Pekerjaan Umum Kab Situbondo Dinas Tanaman Pangan dan Holtikultura Kab. Situbondo
Data Klimatologi	Tahun 2017 – Tahun 2020	BMKG Jawa Timur
Data Hujan Stasiun	Tahun 2010 – Tahun 2019	Dinas Pekerjaan Umum Kab Situbondo
Data Debit Pintu Air UPT Pengairan Situbondo	Tahun 2020	Dinas Pekerjaan Umum Kab Situbondo

Peralatan yang diperlukan adalah perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yaitu ArcMap 10.6, perangkat pengolah citra berbasis *cloud Google Earth Engine*, perangkat lunak untuk menghitung kebutuhan air irigasi *Cropwat 8.0* milik Fao (*Food and Agriculture Organization*). Sedangkan tahapan penelitian ini secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan data, dan tahap akhir. Tahap persiapan meliputi identifikasi masalah, studi literatur, dan pengumpulan data. Tahap pengolahan data mencakup semua langkah untuk peta klasifikasi fase padi dan debit kebutuhan air irigasi. Sedangkan tahap akhir meliputi uji akurasi, analisis hasil, dan penarikan kesimpulan. Gambar 3 menunjukkan tahapan penelitian.

Proses pengolahan data pada penelitian ini dibagi menjadi 2 tahap, tahap perhitungan kebutuhan air petak sawah dan tahap pengolahan data citra untuk mendapatkan luas lahan sawah berdasarkan hasil klasifikasi fase tanam padi.

Tahap pengolahan data pertama adalah pengolahan data hasil foto udara. penggabungan (*mosaicking*) dengan perangkat lunak pengolah foto udara. Sebelum melakukan penggabungan foto, ada beberapa tahap yang harus

dilalui dalam mengolah foto udara. Tahap pertama adalah melakukan *Align photos*. *Align foto* digunakan untuk mengidentifikasi titik – titik yang ada di gambar. Proses ini menghasilkan 3D model awal dan *sparse point clouds* yang akan digunakan untuk tahapan berikutnya. Selanjutnya adalah *import* koordinat yang didapat dari GPS wahana untuk memberi referensi koordinat X,Y terhadap proses *align photos*, sehingga orthofoto yang di bentuk dapat diperbaiki kualitas geometriknnya. Kemudian langkah berikutnya adalah membangun *dense cloud*. *Dense Clouds* adalah kumpulan titik tinggi dalam jumlah ribuan hingga jutaan titik yang nantinya dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan *Digital Surface Model*, *Digital terrain Model* dan *Orthophoto*. Berikutnya membangun model 3D atau disebut dengan proses *Build Mesh*. Model tiga dimensi tersebut nantinya akan digunakan untuk proses pembentukan DEM, DSM, DTM dan *Orthophoto*. Selanjutnya peneliti akan membuat model fisik 3D atau tekstur dari obyek-obyek pada foto. Proses ini disebut dengan *Build Texture*. Langkah terakhir pada pengolahan foto adalah membuat ortofoto atau *Build Orthomosaic*. Ortofoto adalah foto udara yang telah dikoreksi kesalahan geometriknnya menggunakan data DEM sehingga dapat dimanfaatkan untuk kepentingan pemetaan. *Orthofoto* dapat dibentuk setelah tahap pembuatan *Dense Clouds*, *Mesh* dan DEM selesai. Hasil foto yang telah tergabung atau termosaik dengan komposisi kanal RGN selanjutnya akan di registrasi *Image to Image* berdasarkan Citra Sentinel 2.



Gambar 3. Tahapan Penelitian

Informasi fase tanam dan luas petak sawah dihitung berdasarkan fase tanam tersebut. Penelitian ini menggunakan indeks vegetasi NDVI. Indeks vegetasi tersebut berkaitan dengan kerapatan daun dan konsentrasi klorofil sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi fase tanam padi. Usia padi sangat mempengaruhi nilai NDVI. Penerapan algoritma NDVI dilakukan pada citra Sentinel 2 L2A akuisisi 12 Desember 2019 sampai 11 Maret 2020 dan hasil foto udara Kamera IR menggunakan perangkat pengolah data berbasis *cloud-computing* yaitu *Google Earth Engine*. Adapun rumus algoritma vegetasi NDVI adalah :

$$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho Red}{\rho NIR + \rho Red} \tag{1}$$

Di mana :

ρ_{NIR} = Nilai reflektan kanal Infra Merah Dekat

ρ_{Red} = Nilai reflektan 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). Guna mengetahui tingkat keamatan kondisi tanaman aktual dan kondisi tanaman pada citra, maka dilakukan perhitungan persamaan regresi linear antara nilai NDVI aktual dari foto kamera IR dengan nilai NDVI citra sentinel pada semua titik sampel lapangan dan semua tanggal akuisisi citra. 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). Pemotretan dengan kamera IR dilakukan pada tanggal 12 Desember 2020 bertepatan dengan masa awal tanam padi di Kabupaten Situbondo. Hasil regresi linear terbaik akan dipilih dari semua tanggal akuisisi citra guna menetapkan citra tanggal berapa yang bertepatan dengan masa tanam awal padi pada tahun 2019. Langkah selanjutnya membuat grafik *time series* NDVI selama Musim Tanam padi dari bulan Desember hingga bulan Maret untuk melihat trend perubahan nilai NDVI. Grafik *Time Series* NDVI akan berbentuk Sinusoidal atau lonceng simetris dan memperlihatkan fase tanaman padi dari masa awal tanam hingga panen. Selanjutnya menghitung nilai korelasi antara nilai NDVI Citra dengan periode fase tanam padi dari hasil pengamatan di lapangan dan memilih titik sampel yang menghasilkan nilai *R Square* tertinggi dan menghasilkan bentuk sinusoidal terbaik untuk dijadikan sebagai acuan dalam menetapkan rentang nilai NDVI pada setiap fase tanam. Rentang nilai NDVI fase tanam padi tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan klasifikasi fase tanam padi pada citra Sentinel.

Metode klasifikasi fase tanam yang digunakan adalah metode *Machine Learning Random Forest*. *Random Forest* merupakan pengembangan dari metode pengambilan keputusan *ensemble tree* berbasis *Bagging* yang dikembangkan oleh Leo Breiman pada tahun 2001. *Random Forest* ini membentuk sekelompok metode yang terdiri dari gabungan (atau *forest*) dari beberapa *Trees* yang tumbuh melalui varian acak dari algoritma induksi *tree-based* (Gilles L., 2014). Berdasarkan penelitian sebelumnya yang meneliti perbandingan metode klasifikasi seperti Harrisalam (2020), membuktikan bahwa metode klasifikasi yang menghasilkan akurasi tertinggi adalah *Random Forest*. *Training point* dibuat dengan format vektor (.shp), dan penempatannya dilakukan sesuai dengan kelas klasifikasi yang telah ditentukan, dalam penelitian ini ada 4 kelas berdasarkan fase tanam padi yaitu (*Initial Stage*, *Development Stage*, *Mid-Season Stage*, dan *Late Season Stage*), masing-masing kelas terdiri dari 50 titik *training point* dengan komposisi (70% *training point* sebagai titik *sample* dan 30% *training point* sebagai titik validasi/*ground truth*). *Training point* dilakukan dengan digitasi manual menggunakan prinsip interpretasi citra sesuai dengan kelas klasifikasi yang telah ditentukan.

Hasil klasifikasi fase tanam akan diuji keakuratannya menggunakan *Confusion Matrix*. Nilai *Overall Accuracy* yang dihasilkan harus lebih besar atau sama dengan 75% agar hasil klasifikasi dapat dikatakan lulus uji dan bisa melanjutkan tahap selanjutnya. Peta fase tanam dari hasil klasifikasi akan membantu peneliti untuk mendapatkan data luas lahan baku sawah pada masing-masing fase tanam di setiap wilayah Saluran Sekunder. Tahap terakhir adalah menghitung kebutuhan air konsumtif pada masing-masing lahan sawah berdasarkan fase tanamnya.

Selanjutnya menghitung kebutuhan air sawah dari data curah hujan harian tahun 2010 – 2019 stasiun hujan wilayah UPT Pengairan Situbondo dengan metode *Polygon Thiessen* guna memperoleh nilai curah hujan rerata bulanan. Metode *Polygon Thiessen* ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Curah hujan pada suatu luasan dianggap memiliki nilai yang sama dengan stasiun atau titik pengamatan dalam luasan tersebut, dalam kata lain hujan yang tercatat pada suatu stasiun dapat mewakili wilayah polygon disekitarnya. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun (Triatmodjo, 2013). Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Stasiun-stasiun hujan tersebut antara lain Stasiun Alas Malang, Olean, Sumberkolak, Dam Situbondo, dan Trebungan.

Besarnya kebutuhan air petak sawah (*Farm water Requirement*) pada wilayah UPT Pengairan Situbondo dihitung menggunakan persamaan Abdurrachim (1974 dalam Utomo 2006) yang membutuhkan nilai kebutuhan air konsumtif (*Crop Water Requirement*), evapotranspirasi, laju perkolasi dan curah hujan efektif padi. Kebutuhan air konsumtif atau *Crop Water Requirement* (CWR) adalah jumlah air yang digunakan untuk penguapan dari permukaan air atau tanah dan yang digunakan tanaman untuk membangun jaringan tubuhnya (Blaney, 1962). Berikutnya melakukan perhitungan Re80 (Curah Hujan Andalan dengan peluang 80%) dan menghitung curah hujan efektif untuk padi berdasarkan aturan Dirjen Pengairan KP-01 tahun 2013, yaitu 70% dari nilai Re80 selama satu musim tanam padi. Selain curah hujan, kondisi iklim juga mempengaruhi kebutuhan air irigasi tanaman karena suhu, tekanan udara, lama penyinaran matahari dan kecepatan angin akan mendorong terjadinya proses evapotranspirasi dan mengurangi jumlah air pada lahan sawah. Data iklim yang dibutuhkan dalam perhitungan evapotranspirasi potensial adalah data iklim harian pada tiga tahun terakhir dari stasiun pengukuran terdekat dengan wilayah studi. Evapotranspirasi potensial dapat dihitung dengan beberapa metode seperti Thornthwaite, Blaney-Cridle, Penman Modifikasi, dan *Penman-Monteith* (FAO NO 56. *Irrigation and Drainage*). Pada penelitian ini, peneliti menggunakan metode yang sudah menjadi *default* pada aplikasi Cropwat 8.0 yaitu Penman-Monteith dengan rumus sebagai berikut:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \quad (2)$$

Keterangan :

ET₀ = Evapotranspirasi acuan (mm/hari),
 Rn = Radiasi netto pada permukaan tanaman (MJ/m²/hari),
 G = Kerapatan panas terus-menerus pada tanah (MJ/m²/hari),
 T = Temperatur harian rata-rata pada ketinggian 2 m (oC),
 u₂ = Kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/s),
 e_s = Tekanan uap jenuh (kPa),
 e_a = Tekanan uap aktual (kPa),
 Δ = Kurva kemiringan tekanan uap (kPa/C),
 T = Konstanta *psychrometric* (kPa/C).

Untuk menghitung jumlah kebutuhan air konsumtif (CWR) dan kebutuhan air petak sawah (FWR) dapat menggunakan rumus-rumus sebagai berikut.

$$CWR = ET_0 \times Kc \quad (3)$$

Keterangan :

CWR: kebutuhan air konsumtif (mm/hari)
 Kc : koefisien tanaman berdasarkan kebutuhan air dan fase tanam
 ET₀ : evaporasi (mm/hari)

$$FWR = (CWR + Pe) - Re \quad (4)$$

Keterangan :

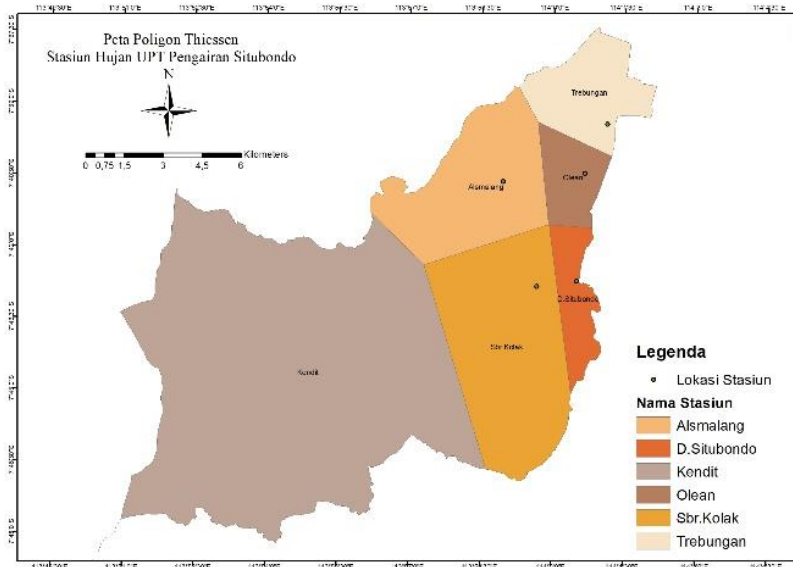
FWR : kebutuhan air petak sawah (mm/hr)
 CWR : kebutuhan air konsumtif (mm/hr)
 Pe : perkolasi (mm/hr)
 Re : hujan efektif (mm/hr)

Hasil dan Pembahasan

Dalam proses mendapatkan nilai kebutuhan air konsumtif (CRW) tanaman padi, langkah pertama yang harus dilakukan adalah penentuan stasiun hujan dan nilai curah hujan efektif padi. Berikut ini peta *polygon thiessen* beserta sebaran titik stasiun hujan wilayah UPT pengairan Situbondo.

Dari Gambar 4 didapatkan informasi luas *polygon* yang terpengaruh oleh masing-masing titik stasiun terdekatnya. Dapat dilihat bahwa lokasi penelitian berada pada wilayah *polygon* stasiun hujan Alasmalang, Dam Situbondo, Olean, Sumber kolak, dan Trebungan. Sehingga data hujan dari stasiun-stasiun tersebut dapat

digunakan untuk menghitung rerata hujan bulanan tahun 2010-2019, nilai Re80, dan curah hujan efektif padi di wilayah UPT Pengairan Situbondo. Hasil perhitungan curah hujan efektif untuk padi disajikan pada Tabel 5. Selanjutnya adalah perhitungan Evapotranspirasi potensial dari data iklim BMKG pada tahun 2017-2019 menggunakan metode *Pennman-Monteith* dalam perangkat lunak Cropwat 8.0. Adapun hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 6.



Gambar 4. Peta Poligon Thiessen Stasiun Hujan UPT Pengairan Situbondo

Tabel 5. Curah Hujan Effektiv padi

Bulan	Jumlah Hari	R80 (mm/bulan)	Hujan Effektiv untuk padi (mm/bulan)
Januari	31	313.5370283	219.4759198
Februari	29	134.3708238	94.05957663
Maret	31	61.73302042	43.21311429
April	30	21.25188055	14.87631638
Mei	31	12.45563875	8.718947128
Juni	30	34.91679754	24.44175828
Juli	31	46.72570908	32.70799636
Agustus	31	3.241660756	2.269162529
September	30	2.410768791	1.687538154
Oktober	31	32.61203376	22.82842363
November	30	32.18640783	22.53048548
Desember	31	235.6617012	164.9631909

Tabel 6. Evapotranspirasi potensial petak sawah

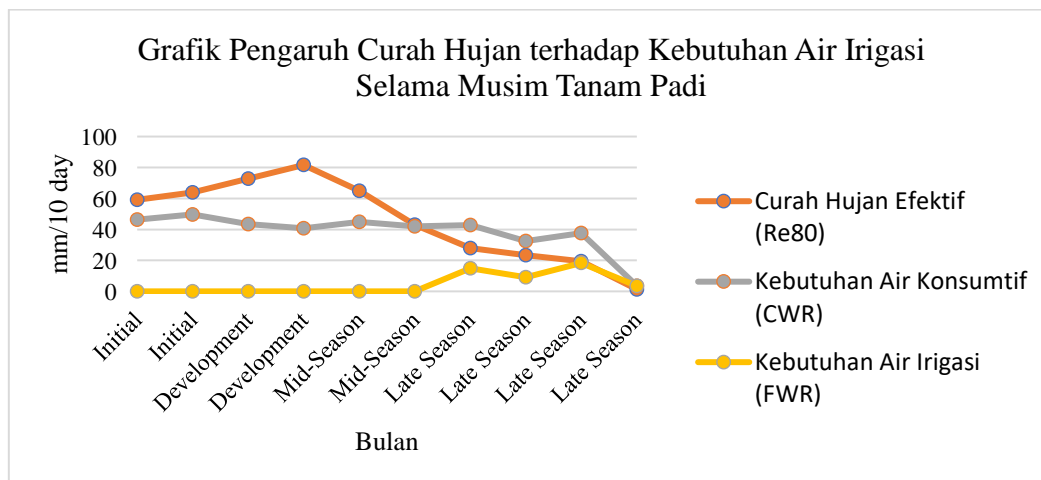
Bulan	Suhu Rata-Rata (°C)	Kelembapan (%)	Kecepatan Angin (km/day)	Lama Penyinaran (Jam)	Rad (MJ/m ² /day)	Eto (mm/day)
Januari	28	80	121	4.6	16.9	3.87
Februari	28	79	121	5.7	18.8	4.19
Maret	28.1	79	121	5.7	18.4	4.09
April	28.9	76	112	7.2	19.5	4.33
May	28.1	79	130	7.1	17.7	3.89
Juni	26.9	81	130	7	16.7	3.51
Juli	26.1	80	147	7	17.1	3.54
Agustus	26	80	138	7.2	18.7	3.81
September	26.9	78	147	8.4	22	4.54
October	28.2	76	138	8.4	22.8	4.93
November	28.8	77	121	7.4	21.2	4.71
Desember	29	76	121	5.3	17.9	4.22
Average	27.8	78	129	6.8	19	4.14

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa curah hujan efektif pada bulan Desember hingga awal bulan Februari cukup tinggi dengan rentang 40 – 80 mm/dec. Rentang waktu tersebut bertepatan dengan masa musim penghujan atau bulan basah sehingga ditetapkan sebagai Musim Tanam padi di Kabupaten Situbondo. Sedangkan nilai evapotranspirasi cenderung hampir rata sepanjang tahun karena Indonesia merupakan negara beriklim tropis dimana perubahan temperatur, kelembapan dan lama penyinaran matahari dari bulan ke bulan tidaklah ekstrem. Evapotranspirasi tertinggi terjadi pada bulan September hingga November yang merupakan akhir dari Musim Kemarau sebelum memasuki musim tanam padi.

Kebutuhan air tanaman dalam *software Cropwat* 8.0 dihitung setiap 10 harian (dasarian) yang besarnya berbeda-beda tergantung besarnya nilai evapotranspirasi tanaman (ET_o) pada setiap dekade. Kebutuhan air juga bergantung kepada jumlah curah hujan yang turun, ketika memasuki musim penghujan maka kebutuhan air irigasinya akan lebih sedikit. Berikutnya adalah perhitungan kebutuhan air konsumtif (CWR) untuk umur tanam 120 hari yang hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Kebutuhan Air Irigasi (FWR) per Fase Tanam

Month	Decade	Fase Tanam	Kc	CWR	CWR	Eff rain	FWR	FWR	FWR
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/day	lt/s/ha
Nov	3	Nurs/LPr	1.14	2.46	22.1	17	49.9	4.99	0.578
Dec	1	Nurs/LPr	1.06	4.67	46.7	41.9	162.5	16.25	1.881
Dec	2	Initial	1.1	4.63	46.3	59.1	0	0	0.000
Dec	3	Initial	1.1	4.52	49.7	63.8	0	0	0.000
Jan	1	Development	1.09	4.34	43.4	72.8	0	0	0.000
Jan	2	Development	1.05	4.07	40.7	81.6	0	0	0.000
Jan	3	Mid-Season	1.03	4.08	44.9	64.9	0	0	0.000
Feb	1	Mid-Season	1.02	4.19	41.9	43	0	0	0.000
Feb	2	Late Season	1.02	4.28	42.8	27.9	14.9	1.49	0.172
Feb	3	Late Season	0.97	4.05	32.4	23.4	9	0.9	0.104
Mar	1	Late Season	0.91	3.76	37.6	19.4	18.3	1.83	0.212
Mar	2	Late Season	0.87	3.58	3.6	1.3	3.6	0.36	0.042



Gambar 5. Grafik Curah Hujan, Kebutuhan Air Konsumtif dan Kebutuhan Air Irigasi sawah per Fase Tanam

Grafik dimulai dari fase *Initial Stage* 2 hingga *Late Season* 2 karena citra yang tersedia adalah Citra Sentinel akuisisi 12 Desember 2019 – 11 Maret 2020. Dapat dilihat pada table dan grafik di atas, pada fase Awal/*Initial Stage* hingga fase pertengahan musim/*Mid-Season Stage*, padi tidak membutuhkan suplai air irigasi karena curah hujan efektif pada masa itu mampu memenuhi semua kebutuhan air konsumtifnya yang meliputi evapotranspirasi dan perkolasi. Dapat dilihat melalui grafik, trend curah hujan efektif mengalami kenaikan hingga mencapai puncaknya pada fase Pertumbuhan tepatnya bulan Januari lalu menurun hingga akhir Fase

pertengahan musim pada bulan Februari. Selama masa itu, padi tidak membutuhkan tambahan air dari air irigasi dan air dapat dilimpahkan ke saluran pembuangan. Artinya curah hujan berpengaruh besar pada jumlah kebutuhan air irigasi padi.

Berdasarkan data hasil perhitungan di atas, nilai Curah Hujan Efektif tertinggi terjadi pada fase tanam *Development* atau Pertumbuhan sebesar 81.6 mm/dec sedangkan nilai kebutuhan irigasi tertinggi terjadi pada fase persiapan lahan sebelum memasuki fase tanam pada bulan Desember periode 1 sebesar 16.25 mm/hari.

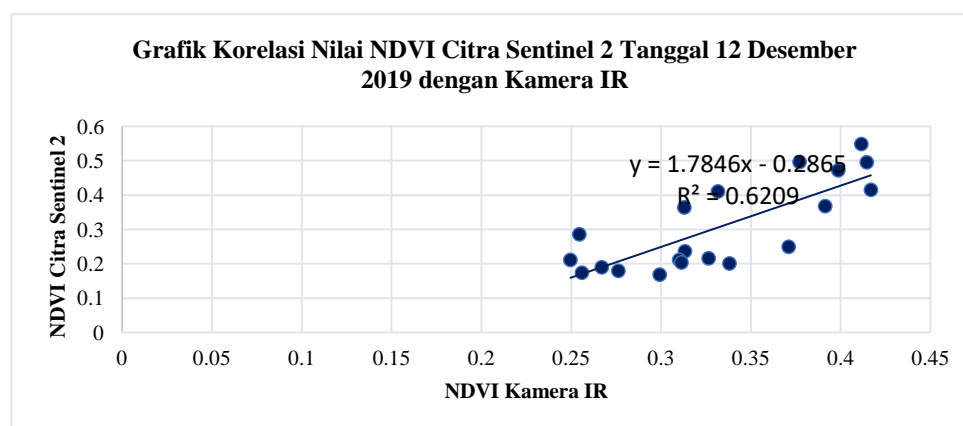
Setelah mendapatkan nilai kebutuhan air konsumtif padi, selanjutnya adalah melakukan pengolahan Citra Sentinel 2 untuk mendapatkan luas petak sawah berdasarkan fase tanamnya. Langkah pertama yaitu menghitung algoritma NDVI foto Kamera IR dan Citra Sentinel pada titik-titik sampel hasil survei lapangan. Nilai NDVI tersebut kemudian dikorelasikan untuk mendapatkan hubungan kondisi kerapatan vegetasi padi antara hasil kamera IR dengan Citra Satelit. Adapun tabel hasil uji korelasi nilai NDVI citra Sentinel-2 dengan NDVI foto kamera IR untuk semua tanggal citra adalah sebagai berikut.

Tabel 8. Tabel Korelasi nilai NDVI Titik Sampel dari Citra Sentinel-2 dan Kamera IR

Tanggal Citra	R	R Square
12 Desember 2019	0.78796149	0.62088331
22 Desember 2019	0.52289637	0.27342062
16 Januari 2020	0.14720591	0.02166958
21 Januari 2020	0.04286976	0.00183782
26 Januari 2020	0.01383675	0.00019146
10 Februari 2020	0.2922442	0.08540667
25 Februari 2020	0.43147388	0.18616971
01 Maret 2020	0.38361909	0.14716361
11 Maret 2020	0.07861283	0.00617998

Sumber : Hasil olahan peneliti

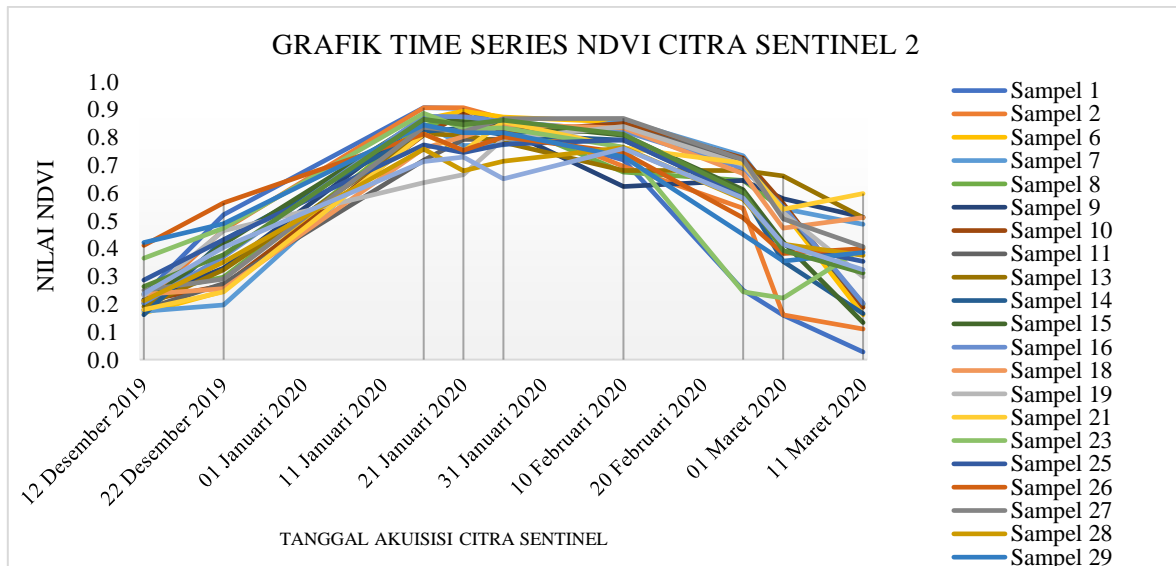
Korelasi terbaik diperoleh citra pada tanggal 12 Desember 2019, tanggal tersebut adalah tanggal yang sama dengan waktu pengambilan sampel NDVI lapangan menggunakan kamera IR. Baik data lapangan maupun tanggal citra berada pada awal Musim Tanam Padi sehingga dimungkinkan beberapa area persawahan yang terekam pada citra sentinel memiliki fase yang sama dengan sampel sawah di lapangan.



Gambar 6. Grafik korelasi regresi linear NDVI Citra Satelit dan NDVI Kamera IR

Koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari hubungan NDVI citra Sentinel-2 tanggal 12 Desember 2020 dengan NDVI di lapangan adalah sebesar 0.62088331 dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0.78796149. Hasil tersebut mengartikan bahwa kondisi kerapatan dan kehijauan lahan sawah pada tanggal akuisisi citra Sentinel mendekati kondisi lahan sawah pada saat pengambilan sampel karena kedua nilainya memiliki korelasi yang cukup tinggi dimana nilai R yang dihasilkan lebih dari 75%.

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 pada puncak fase Pertumbuhan atau *Development*. Pada saat itu padi mulai bunting dan NDVI mencapai nilai maksimum karena jumlah klorofil pada jaringan mesofil daun dalam kondisi maksimum. Pada akhir fase Pertumbuhan dengan akhir fase Pertengahan Musim, nilai NDVI cenderung sama. Untuk membedakannya, maka diperlukan visualisasi grafik nilai NDVI pada tiap bulan (*time series*) selama satu Musim Tanam.



Gambar 7. Grafik NDVI Time Series Fase Tanam Padi (Olahan Peneliti 2020)

Dari Gambar 7, terlihat dinamika nilai NDVI yang menunjukkan pola fase tanam padi dari mulai awal fase tanam hingga panen. Fase Awal tanam padi dimulai pada bulan Desember 2019 di mana NDVI memiliki nilai minimum. Hal ini dikarenakan pada fase awal atau *Initial Stage*, sebagian besar sawah masih digenangi 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 memasuki fase Pertumbuhan atau *Crop Development*. Puncak fase *Crop Development* terjadi pada tanggal 21 Januari 2020.

Setelah mengalami masa tersebut, padi mulai memasuki fase Pertengahan Musim Tanam atau *Mid-season Stage*. Fase ini dimulai sejak masa tutupan daun penuh hingga masa awal kematangan padi. Pada fase ini, kandungan klorofil tertinggi mulai menurun hingga akhir fase, yang ditandai dengan penurunan *trendline* pada grafik NDVI. Fase *Mid-Season Stage* dimulai dari tanggal 26 Januari hingga 25 Februari 2020.

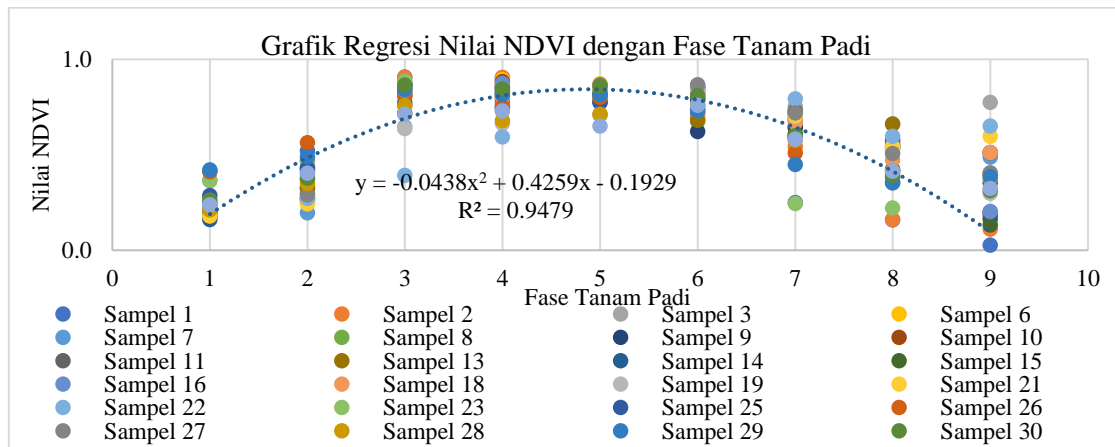
Tabel 9. Pembagian Fase Tanam Menurut Fao

Bulan	10 hari ke-	Tanggal Akuisisi Citra	Fase Tanam	Label Grafik
	1	-	<i>Land Prepare</i>	
Desember	2	12 Desember 2019	<i>Initial</i>	1
	3	22 Desember 2019	<i>Initial</i>	2
	1	16 Januari 2020	<i>Development</i>	3
Januari	2	21 Januari 2020	<i>Development</i>	4
	3	26 Januari 2020	<i>Mid-Season</i>	5
	1	10 Februari 2020	<i>Mid-Season</i>	6
Februari	2	-	<i>Mid-Season</i>	
	3	25 Februari 2020	<i>Late Season</i>	7
	1	01 Maret 2020	<i>Late Season</i>	8
Maret	2	11 Maret 2020	<i>Late Season</i>	9
	3	-	<i>Late Season</i>	-

Fase akhir yaitu Late Season Stage terjadi pada bulan Februari hingga pertengahan bulan Maret 2020 yang ditandai dengan biji padi yang sudah masak, daun yang menguning hingga proses panen oleh petani. Pada fase ini, nilai NDVI berada di tingkat minimum yang hampir sama dengan nilai NDVI ketika fase awal tanam. Tabel 9 merupakan tabel pembagian fase tanam menurut FAO (*Food and Agriculture Organization*) berdasarkan tanggal akuisisi Citra Sentinel.

FAO (*Food and Agriculture Organization*) membagi fase tanam berdasarkan kerapatan daun dan jumlah genangan air pada setiap 10 hari untuk menghitung kebutuhan air irigasi.

Dari grafik NDVI *time series* pada gambar 5, selanjutnya dibuat hubungan antara nilai NDVI dengan fase tanam padi untuk mengetahui tingkat korelasi pendugaan fase tanam dengan nilai NDVI pada tiap fasenya. Adapun hasil regresi antara nilai NDVI dengan fase tanam padi terdapat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Regresi Nilai NDVI dengan Fase Tanam Padi (Olahan Peneliti 2020)

Dari grafik tersebut, label 1 dan 2 merupakan Fase Awal Tanam, label 3 dan 4 merupakan fase Pertumbuhan, label 5 dan 6 mewakili fase Pertengahan Musim, serta label 7, 8 dan 9 mewakili Fase Akhir Musim. Pada grafik tersebut, nilai NDVI semakin meningkat dari fase Awal hingga puncak fase Pertengahan Musim ketika aktivitas klorofil mencapai puncaknya, kemudian mulai terjadi penurunan pada akhir Fase Pertengahan hingga Fase akhir Musim Tanam yang merupakan masa pemasakan hingga panen padi.

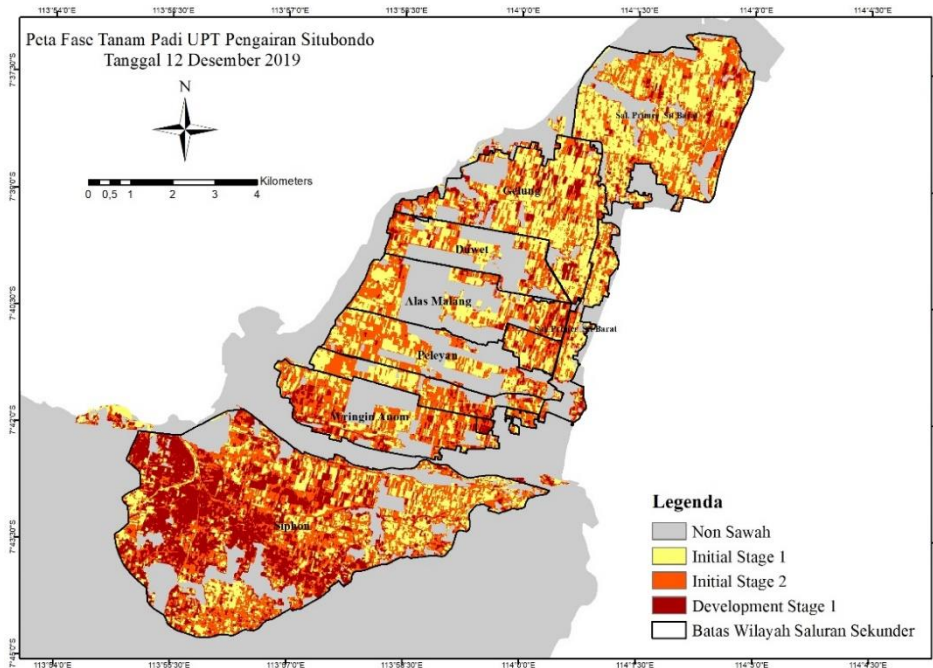
Nilai koefisien determinasi (R^2) didapatkan sebesar 0,9479 yang artinya nilai NDVI citra Sentinel-2 dan fase tanam padi memiliki korelasi yang sangat kuat untuk model di atas. Untuk mengetahui rentang nilai NDVI pada masing-masing fase, maka dilakukan pengelompokan nilai NDVI pada masing-masing fase sesuai grafik di atas. Berikut adalah tabel fase tanam padi dan rentang nilai NDVI dari citra Sentinel-2 pada masing-masing fase.

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

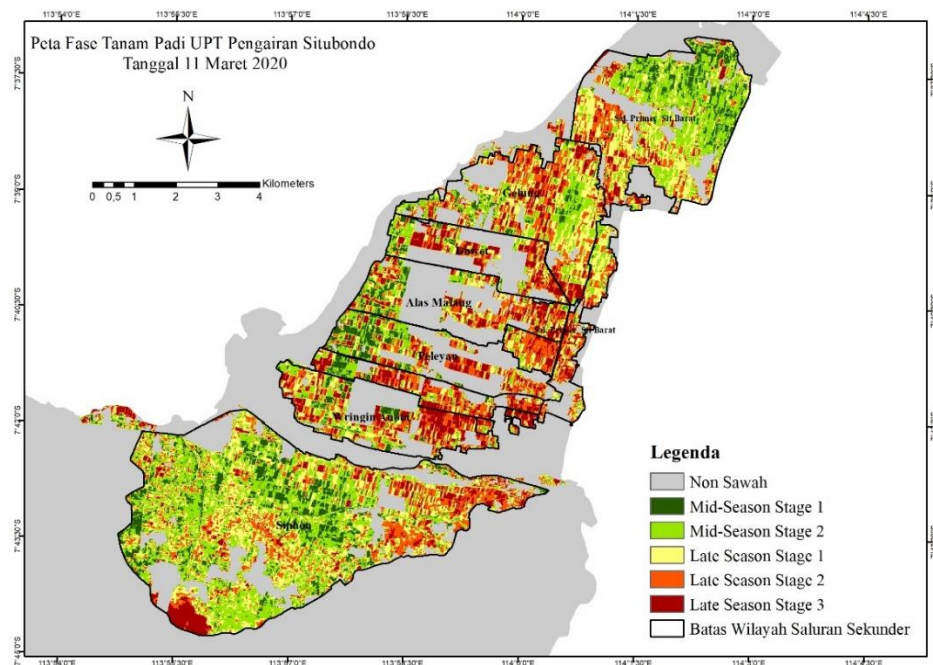
Fase Tanam	Label Grafik	Rentang Nilai NDVI
<i>Initial 1</i>	1	< 0.34
<i>Initial 2</i>	2	0.34 - 0.61
<i>Development 1</i>	3	0.61 - 0.76
<i>Development 2</i>	4	0.76 - 0.82
<i>Mid-Season 1</i>	5	0.82 - 0.91
<i>Mid-Season 2</i>	6	0.82 - 0.72
<i>Late Season 1</i>	7	0.72 - 0.53
<i>Late Season 2</i>	8	0.53 - 0.27
<i>Late Season 3</i>	9	< 0.27

Sumber: Pengolahan Rentang Nilai NDVI untuk Fase Tanam Padi 2020

Proses klasifikasi dilakukan secara terbimbing dengan membuat *training samples* sebanyak minimal 9 kelas untuk tiap fase tanam padi. Metode klasifikasi terbimbing yang digunakan adalah metode *Machine learning Random Forest*. 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.



Gambar 9. Peta Klasifikasi Fase Tanam Padi Citra Tanggal 12 Desember 2019



Gambar 10. Peta Klasifikasi Fase Tanam Padi Citra Tanggal 11 Maret 2020

Jaringan irigasi wilayah UPT pengairan Situbondo terdiri dari 3 saluran primer yaitu Saluran Siphon, Saluran Primer Situbondo Barat, dan Saluran primer Situbondo Timur. Analisis kebutuhan air pada penelitian ini berfokus pada lahan baku sawah yang diari oleh Saluran Primer Situbondo Barat. Saluran tersebut bertugas membagi air irigasi ke 6 Saluran Sekunder di antaranya Saluran Sekunder Wringin Anom, Saluran Sekunder

Kota Bedeh, Saluran Sekunder Pelean, Saluran Sekunder Alas Malang, Saluran Sekunder Duwet, dan Saluran Sekunder Gelung. Peta klasifikasi fase tanam pada Gambar 9 dan 10 menampilkan pembagian fase tanam pada setiap wilayah lahan baku sawah yang diari oleh 6 saluran sekunder tersebut.

Pada citra tanggal 12 Desember 2019, lahan sawah pada Fase *Initial Stage 1* seluas 20.30536629 km², Fase *Initial Stage 2* seluas 23.82711043 km², dan Fase *Development 1* Seluas 12.40628957 Km². Pada citra tanggal 11 Maret 2020, lahan sawah pada Fase *Mid-Season 1* seluas 5.08189038 Km², Fase *Mid-Season 2* seluas 15.40310649 Km², Fase *Late Stage 1* seluas 14.85176335 km², Fase *Late Stage 2* seluas 13.52508707 km², dan Fase *Late Stage 3* seluas 7.676919008 km².

Uji akurasi dilakukan berdasarkan *training samples* atau *Region of Interest* yang telah dibuat per fase tanam. Masing-masing fase tanam minimal memiliki 3 *training samples*. Hasil uji akurasi untuk citra tanggal 12 Desember 2020 menghasilkan koefisien Kappa tertinggi yaitu sebesar 1 dan *overall accuracy* sebesar 100%. Nilai uji akurasi dianggap benar apabila memiliki nilai *Overall Accuracy* sebesar di atas 75% (LAPAN 2015).

Tabel 11. Data Statistik Uji Validasi Random Forest Citra Tanggal 12 Desember 2019

Klasifikasi/ Validasi	<i>Initial Stage</i>		<i>Development Stage</i>	Total	<i>User Accuracy (%)</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>		
Initial Stage 1	488	0	0	488	100
Initial Stage 2	0	499	0	499	100
Development Stage	0	0	118	118	100
Total	488	499	118	1105	
Producer Accuracy (%)	100	100	100		
Training overall accuracy				1	
Kappa				1	
Validation overall accuracy				0.997881356	

Tabel 12. Data Statistik Uji Validasi Random Forest Citra Tanggal 11 Maret 2020

Klasifikasi/ Validasi	<i>Mid</i>		<i>Late</i>		<i>Late</i>	Total	<i>User Accuracy (%)</i>
	<i>Stage 1</i>	<i>Stage 2</i>	<i>Stage 1</i>	<i>Stage 2</i>	<i>Stage 3</i>		
Mid Stage 1	106	0	0	0	0	106	99.0654
Mid Stage 2	1	211	0	0	0	212	100
Late Stage 1	0	0	231	0	0	231	100
Late Stage 2	0	0	0	327	1	328	99.6951
Late Stage 3	0	0	0	1	236	237	99.5781
Total	107	211	231	328	237	1114	
Producer Accuracy (%)	100	99.5283	100	99.6951	99.5781		
Training overall accuracy							0.9952381
Kappa							0.9935365
Validation overall accuracy							0.9724771

Tabel 13. Kebutuhan Air Irigasi berdasarkan fase tanam pada lahan baku sawah UPT Pengairan Situbondo Saluran Primer Situbondo Barat

Tanggal Citra	Fase Tanam	WRINGIN ANOM		KOTA BEDEH		PELEAN		ALASMALANG		DUWET		GELUNG	
		Ha	lt/dt	Ha	lt/dt	Ha	lt/dt	Ha	lt/dt	Ha	lt/dt	Ha	lt/dt
12 Desember 2019	<i>Initial 1</i>	130.3	0	93.98	0	149.94	0	156.84	0	119.45	0	369.98	0
	<i>Initial 2</i>	232.77	0	118.97	0	173.6	0	162.98	0	107.99	0	270.14	0
	<i>Development 1</i>	74.55	0	17.73	0	13.2	0	34.33	0	25.71	0	99.84	0
	<i>Tutupan Awan</i>	4.39	0	5.22	0	8.98	0	13.35	0	7	0	171.36	0
22 Desember 2019	<i>Initial 1</i>	40.08	0	29.64	0	39.38	0	74.96	0	61.85	0	310.65	0
	<i>Initial 2</i>	229.28	0	122.91	0	193.41	0	203.68	0	157.44	0	228.11	0
	<i>Development 1</i>	163.87	0	72.91	0	94.97	0	62.17	0	26.85	0	29.85	0

16 Januari 2020	<i>Development 1</i>	176.71	0	51.39	0	101.93	0	133.68	0	93.14	0	366.39	0
	<i>Development 2</i>	94.85	0	49.75	0	92.67	0	75.24	0	51.95	0	127.74	0
	<i>Mid-Season 1</i>	166.06	0	129.54	0	142.14	0	145.25	0	108.05	0	245.84	0
21 Januari 2020	<i>Development 1</i>	148.59	0	56.59	0	119.69	0	124.74	0	77.42	0	301.37	0
	<i>Development 2</i>	126.09	0	74.78	0	100.01	0	90.01	0	56.52	0	161.08	0
	<i>Mid-Season 1</i>	162.94	0	99.31	0	117.04	0	139.41	0	119.2	0	277.51	0
26 Januari 2020	<i>Development 1</i>	154.07	0	62.67	0	105.05	0	100.57	0	75.42	0	239.25	0
	<i>Development 2</i>	101.81	0	47.8	0	89.14	0	95.02	0	56.45	0	149.91	0
	<i>Mid-Season 1</i>	107.43	0	77.6	0	96.6	0	116.06	0	86.89	0	272.34	0
	<i>Mid-Season 2</i>	74.31	0	42.61	0	45.95	0	42.51	0	34.38	0	78.47	0
10 Februari 2020	<i>Mid-Season 1</i>	82.5	0	51.71	0	99.48	0	98.63	0	50.01	0	303.72	0
	<i>Mid-Season 2</i>	155.09	0	74.9	0	106.2	0	135.2	0	85.22	0	249.76	0
	<i>Late Season 1</i>	135.66	0	69.71	0	77.58	0	85.68	0	89.57	0	145.7	0
	<i>Late Season 2</i>	45.04	0	23.08	0	32.41	0	24.38	0	21.45	0	30.86	0
	<i>Late Season3</i>	19.33	0	11.28	0	21.07	0	10.27	0	6.9	0	9.92	0
25 Februari 2020	<i>Mid-Season 1</i>	97.39	10.48	44.54	4.79	105.19	11.32	69.96	7.53	43.9	4.73	23.88	2.57
	<i>Mid-Season 2</i>	62.6	6.74	24.82	2.67	52.83	5.69	48.02	5.17	26.21	2.82	60.72	6.54
	<i>Late Season 1</i>	122.72	13.21	49.03	5.28	62.73	6.75	121.19	13.04	64.16	6.91	319.22	34.36
	<i>Late Season 2</i>	90.35	9.73	49.47	5.32	57.58	6.2	76.37	8.22	90.06	9.69	306.97	33.04
	<i>Late Season3</i>	64.55	6.95	62.81	6.76	58.42	6.29	38.62	4.16	28.81	3.1	29.19	3.14
01 Maret 2020	<i>Mid-Season 2</i>	28.22	6.01	27.42	5.84	79.48	16.93	52.42	11.16	29.08	6.19	68.29	14.54
	<i>Late Season 1</i>	157.99	33.65	48.23	10.27	98.42	20.96	129.3	27.54	82.85	17.64	390.83	83.23
	<i>Late Season 2</i>	165.5	35.25	79.38	16.91	91.35	19.45	128.83	27.44	100.25	21.35	249.89	53.22
	<i>Late Season3</i>	85.92	18.3	75.65	16.11	67.5	14.37	43.61	9.29	40.96	8.72	30.95	6.59
11 Maret 2020	<i>Mid-Season 1</i>	32.57	1.36	19.8	0.83	57.53	2.4	31.2	1.3	14.99	0.62	36.06	1.5
	<i>Mid-Season 2</i>	84.74	3.53	35.88	1.5	82.14	3.42	69.86	2.91	49.65	2.07	178.55	7.44
	<i>Late Season 1</i>	92.44	3.85	33.71	1.4	57.98	2.42	82.14	3.42	50.16	2.09	217.79	9.07
	<i>Late Season 2</i>	117.67	4.9	77.93	3.25	84.05	3.5	101.36	4.22	64.47	2.69	210.11	8.75
	<i>Late Season3</i>	110.19	4.59	63.34	2.64	55.05	2.29	69.6	2.9	73.88	3.08	97.45	4.06

Tabel 14. Tabel Perbandingan Debit Kebutuhan Air Irigasi (IRR) dengan Debit yang tersedia dari saluran (*Intake*)

Tanggal Citra	WRINGIN ANOM (lt/dt)		KOTA BEDEH (lt/dt)		PELEAN (lt/dt)		ALASMALANG (lt/dt)		DUWET (lt/dt)		GELUNG (lt/dt)	
	IRR	Saluran	IRR	Saluran	IRR	Saluran	IRR	Saluran	IRR	Saluran	IRR	Saluran
	12 Desember 2019	0	455	0	145	0	415	0	410	0	320	0
22 Desember 2019	0	597	0	275	0	631	0	384	0	369	0	645
16 Januari 2020	0	512	0	236	0	515	0	471	0	293	0	419
21 Januari 2020	0	494	0	217	0	540	0	485	0	314	0	437
26 Januari 2020	0	494	0	217	0	540	0	485	0	314	0	437
10 Februari 2020	0	606	0	198	0	582	0	530	0	332	0	472
25 Februari 2020	47.11	756	24.83	233	36.25	417	38.12	461	27.25	239	79.65	523
01 Maret 2020	93.20	726	49.13	208	71.71	427	75.42	410	53.91	209	157.59	460
11 Maret 2020	18.23	761	9.61	347	14.03	714	14.76	565	10.55	329	30.83	559

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa seluruh sawah mendapatkan suplai air dengan baik karena debit pada semua pintu air yang mengarah ke saluran sekunder melebihi jumlah kebutuhan air dari petak-petak tersiernya. Selisih antara debit saluran dan debit kebutuhan sawah sangat besar. Hal ini dapat terjadi mengingat luas lahan pertanian yang diperhitungkan dalam penelitian ini hanya lahan padi dan tidak termasuk tanaman pangan lainnya.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, diketahui bahwa hubungan tingkat kehijauan dan kerapatan padi di lapangan dengan Citra satelit sudah cukup dekat dengan koefisien determinasi sebesar 73%. Hal itu disebabkan karena pengambilan sampel NDVI aktual melalui foto udara dilakukan pada tanggal yang sama dengan tanggal akuisisi citra Sentinel. Sehingga kondisi lahan sawah tidak berbeda jauh.

Hasil klasifikasi fase tanam menggunakan metode *Random Forest* menghasilkan nilai Kappa terbesar pada citra tanggal 12 Desember 2019 sebesar 1. Terdapat 1068,54 Ha sawah dengan Fase *Initial Stage 1*, 1136,73 Ha sawah dengan Fase *Initial Stage 2*, dan 288,37 Ha yang sudah memasuki Fase *Crop Development*. Nilai NDVI tertinggi terjadi pada tanggal 26 Januari 2019 yaitu Fase Tanam *Mid-Season Stage 1* dengan luas sawah 756,91 Ha dan nilai NDVI terendah didapat pada akhir fase tanam tanggal 11 Maret 2020 dengan luas sawah 489,09 Ha.

Debit kebutuhan irigasi tertinggi terjadi pada tanggal 25 Februari 2020 sebesar 586,85 lt/dt dan debit kebutuhan air irigasi terendah terjadi pada tanggal 11 Maret yang bertepatan dengan masa panen. Berdasarkan hasil perhitungan peneliti, kebutuhan air irigasi pada bulan Desember hingga bulan Maret sudah terpenuhi oleh curah hujan yang terjadi di wilayah UPT Pengairan Situbondo sehingga tidak membutuhkan debit irigasi dari saluran irigasi.

Seluruh sawah sudah mendapatkan suplai air dengan baik karena debit air pada semua pintu saluran sekunder melebihi jumlah kebutuhan air petak-petak tersiernya. Kelebihan air irigasi selanjutnya akan dilimpahkan ke saluran pembuangan. Hal ini dapat terjadi karena faktor iklim seperti curah hujan yang tinggi pada saat penelitian ini dilaksanakan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Tanaman Pangan dan Holtikultura sebagai pihak penyedia data, dan fasilitas berupa perangkat keras pengolah data foto udara Infra Red, Dinas Pekerjaan Umum sebagai pihak penyedia data jaringan irigasi Kab. Situbondo, kepada BIG sebagai pihak penyedia data, dan Terima kasih juga kepada ESRI Indonesia yang telah memberikan lisensi perangkat lunak dan membantu dalam pengolahan data selama penelitian.

Daftar Pustaka

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56,
- Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. 2006. Pendugaan Produktivitas Tanaman Padi Sawah Melalui Analisis Citra Satelit, 15, 853–869.
- Campbell, James B. And Randolph H. Wynne. 2011. Introduction To Remote Sensing. Fifth Edit. New York: The Guilford Press.
- 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: Universitas Gajah Mada.
- Daughtry, C. S., C. L. Walthall, M. S. Kim, E. Brown De Colstoun, And J. E. McMurtrey. 2000. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration From Leaf And Canopy Reflectance. Remote Sensing Of Environment. 74, Pp. 229–239.
- Departemen Pertanian. 1977. Pedoman Bercocok Tanam Padi, Palawija, Sayur-Sayuran. Jakarta: Departemen Pertanian, Badan Pengendali Bimas
- Dingeldey, C., Muller-Wilm, U., Dan Laroque, C. 2016. Sentinel-2 MSI-Level-2A Prototype Processor Installation And User Manual. Telespazio VEGA Deutschland GmbH. Germany.

- Ditjen Pengairan1 . 1986. Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01. Bandung: Ditjen. Pengairan Dep. PU Galang Persada
- Ditjen Pengairan2 . 1986. Kriteria Perencanaan Penunjang. Bandung: Ditjen. Pengairan Dep. PU Galang Persada
- Ditjen Pengairan3 . 1997. Pedoman Umum Operasi & Pemeliharaan Jaringan Irigasi, Bandung: Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum – Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Drusch, M., U. D. Bello, S. Carlier, O. Colin, V. Fernandez, F. Gascon, B. Hoersch, C. Isola, P. Laberinti, P. Martimort, A. Meygret, F. Spoto, O. Sy, F. Marchese And P. Bargellini. 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission For GMES Operational Services. *Remote Sensing Of Environment*, 120, 25–36.
- ESA. 2015. Sentinel-1 User Handbook, , URL:https://Sentinel.Esa.Int/Documents/247904/685163/S_Entinel-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](https://Www.Esa.Int/Our_Activities/Observing_The_Earth/Copernicus/Overview4.European_Space_Agency)>. Diakses Tanggal 10 Oktober 2018.
- G´erard Biau. 2012, Analysis of a Random Forests Model, *Journal of Machine Learning Research* 13
- Haboudane, D., J. R. Miller, N. Tremblay, P. J. Zarco-Tejadad, And L. Dextrazec. (2002). Integrated Narrow-Band Vegetation Indices For Prediction Of Crop Chlorophyll Content For Application To Precision Agriculture. *Remote Sensing Of Environment*. 81, 416–426.
- 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 Desember : Surabaya.
- Jensen, L. L. F. 2000. Principles Of Remote Sensing : An Introductory Textbook. Enschede: ITC.
- Kawamuna, A., Suprayogi, A., Dan Wijaya, A. P. 2017. Analisis Kesehatan Hutan Mangrove Berdasarkan Metode 86 Klasifikasi Ndvi Pada Citra Sentinel-2 (Studi Kasus:Teluk Pangpang Kabupaten Banyuwangi. *Journal Of Geodesy*, 6(1), 277-284.
- Kementerian Pertanian. 2014. Konsep Pedoman Teknis Pengembangan System Of Rice Intensification TA.2014. Jakarta: Direktorat Perluasan Dan Pengelolaan Lahan
- Maksum, Z. U., Prasetyo, Y., & Haniah. 2016. Perbandingan Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Metode Klasifikasi Berbasis Objek Dan Klasifikasi Berbasis Piksel Pada Citra Resolusi Tinggi Dan Menengah. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2). Retrieved From [Http://Download.Portalgaruda.Org](http://Download.Portalgaruda.Org)
- 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.
- Pflug, B., Makarau, A., Dan Richter, R. 2016. Processing Sentinel-2 Data With ATCOR. *EGU General Assembly*, 66(4), 2–3.
- Prihandono, Didik. 2005. Evaluasi Ketersediaan Air Permukaan Untuk Irigasi Pertanian Kecamatan Prambanan Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta. Skripsi, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Priyonugroho, Anton. 2014. Analisis Kebutuhan Air Irigasi (Studi Kasus Pada Daerah Irigasi Sungai Air Keban Daerah Kabupaten Empat Lawang). *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan, Universitas Sriwijaya*
- Purwadhi, Sri Hardiyanti. 2001. Interpretasi Citra Digital. Jakarta : Grasindo
- Richter, K., T. B. Hank, F. Vuolo, W. Mauser, And G. D’Urso. 2012. Optimal Exploitation Of The Sentinel-2 Spectral Capabilities For Crop Leaf Area Index Mapping. *Remote Sensing*. 4, Pp. 561–582.
- Rohman, A., & Maharani, A. 2017. Proyeksi Kebutuhan Konsumsi Pangan Beras Di Daerah Istimewa Yogyakarta. Caraka Tani: *Journal Of Sustainable Agriculture*. 32(1), 29-34. Doi: [Http://Dx.Doi.Org/10.20961/Carakatani.V32i1.12144](http://Dx.Doi.Org/10.20961/Carakatani.V32i1.12144)
- 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). *Jurnal GEOID*, Vol 10, No 2 (2015)
- Syafitri, Ajeng Kartika Nugraheni. 2017. Analisis Pengaruh Pemilihan Peta Dasar Terhadap Penentuan Batas Pengelolaan Wilayah Laut Secara Kartometris. *Jurnal Geodesi Undip*, Vol. 6, No. 3.
- Soekirman. 2014. Uji Korelasi. Universitas Sumatera Utara. Repository USU. Dikunjungi Pada Tanggal 16 Oktober 2019.
- Sugiyono. 2008. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D. Bandung : ALFABETA
- Sugiyono. 2013. Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D. Bandung: Alfabeta.

-
- Sunantri, M. 2010. Pulennya Beras Asli Delanggu. [Http://Www.Kompas.Com](http://www.kompas.com). Diakses Pada Tanggal 7 Februari 2017 Pukul 20.24.
- Sutan, N. 2008. Perancangan Program Aplikasi Klasifikasi Citra Dengan Metode Bayesian. Teknik Informatika, Universitas Tarumanegara.
- Tucker, C. J. .1979. Red And Photographic Infrared Linear Combinations For Monitoring Vegetation. *Remote Sensing Of Environment*. 8, 127–150.
- Triatmodjo, B. (2013). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.
- Van Der Meer, F.D., H.M.A. Van Der Werff And F.J.A. Van Ruitenbeek. 2014. Potential Of ESA's Sentinel-2 For Geological Applications. *Remote Sensing Of Environment*. 148,124–133.
- Verrelst, J., J. Muñoz, L. Alonso, J. Delegido, J.P. Rivera, G. Camps-Valls And J. Moreno. 2012. Machine Learning Regression Algorithms For Biophysical Parameter Retrieval: Opportunities For Sentinel-2 And -3. *Remote Sensing Of Environment*. 118, 127– 139.
- Wahyunto, Widagdo Dan Bambang Heryanto. 2006. Pendugaan Produktivitas Tanaman Padi Sawah Melalui Analisis Citra Satelit. *Wartainformatika Pertanian*.15(2), 853-869.
- Castleman, Kenneth R., (2004). *Digital Image Processing*, Vol. 1, Ed.2, Prentice Hall, New Jersey.
- Gonzales, R., P. (2004). *Digital Image Processing (Pemrosesan Citra Digital)*, Vol. 1, Ed.2, diterjemahkan oleh Handayani, S., Andri Offset, Yogyakarta.



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).