ESTIMASI PRODUKTIVITAS PADI BERDASARKAN ANALISIS INDEKS VEGETASI MENGGUNAKAN DATA CITRA SENTINEL-2

FITRI YUNITA
G041191009

PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

HALAMAN JUDUL

ESTIMASI PRODUKTIVITAS PADI BERDASARKAN ANALISIS INDEKS VEGETASI MENGGUNAKAN DATA CITRA SENTINEL-2

FITRI YUNITA
G041191009

PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

HALAMAN PENGAJUAN SKRIPSI

ESTIMASI PRODUKTIVITAS PADI BERDASARKAN ANALISIS INDEKS VEGETASI MENGGUNAKAN DATA CITRA SENTINEL-2

FITRI YUNITA

G041191009

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian (S.TP)

Program Studi Teknik Pertanian

pada

PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

HALAMAN PENGESAHAN

ESTIMASI PRODUKTIVITAS PADI BERDASARKAN ANALISIS INDEKS VEGETASI MENGGUNAKAN DATA CITRA SENTINEL-2

FITRI YUNITA
G041191009

Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Pada 22 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan pada

Program Studi Teknik Pertanian
Departemen Teknologi Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan,

Pembimbing Utama,

Dr. Ir. Daniel Useng, M.Eng.Sc.
NIP. 19620201 199002 1 002

Pembimbing Pendamping,

Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP
NIP. 19700603 199403 1 003

Ketua Program Studi,
Teknik Pertanian

Diyah Yumeina, S.TP., M.Agr,. Ph.D
NIP. 198101292009122002

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Estimasi Produktivitas Padi Berdasarkan Analisis Indeks Vegetasi Menggunakan Data Citra Sentinel-2" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Dr. Ir. Daniel Useng, M.Eng.Sc. Sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP sebagai pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 09 Desember 2024

Fitri Yunita
G041191009

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses atas bimbingan, diskusi dan arahan **Dr. Ir. Daniel Useng, M. Eng. Sc.** sebagai pembimbing 1 dan **Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP** sebagai pembimbing 2. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka. Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada kelompok tani desa Borimkamase yang telah mengizinkan saya untuk melaksanakan penelitian di lapangan.

Kepada Program BIDIKMISI, saya mengucapkan terima kasih atas beasiswa yang diberikan selama menempuh program pendidikan sarjana. Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program sarjana serta para dosen dan rekan-rekan seperjuangan saya.

Akhirnya dan yang paling utama kepada kedua orang tua tercinta saya **Naping** dan **Napisah**, saya mengucapkan limpahan terima kasih atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada saudara dan saudari saya (**Syamsul, Zaenal, Mustafa, Junaedi, Nuraeni dan Sahar**) atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Penulis,

Fitri Yunita

ABSTRAK

FITRI YUNITA. **Estimasi produktivitas padi berdasarkan analisis indeks vegetasi menggunakan data citra sentinel-2** (dibimbing oleh Daniel Useng, dan Mahmud Achmad).

Latar belakang. Penerapan teknologi dalam melakukan pemantauan dan estimasi produktivitas padi sangat dibutuhkan dalam menunjang sebuah keputusan yang lebih terencana karena ketersediaan beras sebagai makanan pokok sangat mempengaruhi kondisi ekonomi dan sosial suatu wilayah. Penelitian mengenai pemanfaatan indeks vegetasi untuk estimasi produktivitas telah banyak dilakukan, tetapi efektivitas setiap indeks berbeda pada setiap daerah sehingga perlu dilakukan pengujian setiap indeks yang digunakan agar evektivitasnya dapat diketahui, terutama untuk melakukan estimasi produktivitas. **Tujuan.** Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji indeks NDVI, RENDVI, dan WDRVI dalam memantau perubahan fase tumbuh tanaman padi dan untuk melakukan estimasi produktivitas padi guna mengetahui efektivitas dari ketiga indeks tersebut. **Metode.** Penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap yakni tahap pertama studi literartur dan pencarian lokasi penelitian, tahap kedua pelaksanaan penelitian dengan melakukan pengambilan data produktivitas padi, data citra sentinel-2 dan dokumentasi lapangan untuk melakukan verifikasi, serta tahap ketiga pengolahan data yakni melakukan pemodelan estimasi produktivitas dengan pendekatan spektral dari 3 indeks vegetasi yang digunakan untuk analisis yakni NDVI, WDRVI dan RENDVI. Nilai dari indeks yang diperoleh dihubungkan dengan data lapangan menggunakan analisis regresi untuk membuat model estimasi produktivitas, kemudian persamaan yang diperoleh digunakan untuk menghitung estimasi produktivitas dan melakukan validasi dengan membandingkan hasil estimasi dengan produktivitas padi aktual lalu menentukan tingkat kesesuaian estimasi yang dinilai berdasarkan nilai koefisien determinasi, koefisien korelasi dan standar error yang dihasilkan. **Hasil.** diperoleh bahwa hasil estimasi dari ketiga indeks yang digunakan yakni NDVI sebesar 43,58 ton/Ha, WDRVI sebesar 39,13 ton/Ha dan RENDVI 44,55 ton/Ha WDRVI dan NDVI optimal digunakan untuk estimasi pada umur 53 HST sedangkan RENDVI 58 HST dengan masing-masing nilai koefisien determinasi antara produktivitas aktual dengan produktivitas hasil estimasi sebesar NDVI 64%, WDRVI 77% dan RENDVI menjadi indeks terbaik dalam melakukan estimasi dengan nilai 89% dan memiliki selisih terendah dengan produktivitas aktual dilapangan yang tercatat sebesar 46,53, ton/Ha pada 11 Petak petak uji model. **Kesimpulan.** RENDVI lebih unggul untuk melakukan estimasi dengan tingkat akurasi tertinggi dibandingkan NDVI dan WDRVI.

Kata kunci: Indeks Vegetasi; NDVI; Produktivitas padi; RENDVI; WDRVI

ABSTRACT

FITRI YUNITA. **Rice production estimation based on vegetation index analysis using sentinel-2 image data** (supervised by Daniel Useng, and Mahmud Achmad).

Background. The application of technology in estimating rice productivity is very necessary to support more planned decisions because the availability of rice as a staple food greatly influences the economic and social conditions of a region. Much research has been carried out regarding the use of vegetation indices for productivity estimation, but the effectiveness of each index varies in each region. **Aim.** This research aims to examine the NDVI, RENDVI and WDRVI indices in estimating rice production in order to determine the effectiveness of the third index. Method. This research is divided into 3 stages, namely the first stage is literature study and searching for research locations, the second stage is conducting research by collecting rice production data, sentinel-2 image data and field documentation, and the third stage is data processing, namely modeling productivity estimates using a spectral approach using The 3 vegetation indices used for analysis are NDVI, WDRVI and RENDVI. The values of the obtained indices are linked to field data using digreggression analysis to create a productivity estimation model. by making a relationship between the vegetation index and rice production, then the equation obtained is used to calculate productivity estimates and carry out validation by comparing the estimation results with actual rice productivity with the level of suitability of the estimates assessed based on the values of the coefficient of determination, correlation coefficient and standard error produced. **Results.** The estimation results from the three indices used NDVI, WDRVI, and RENDVI, were 43.58 tons/ha, 39.13 tons/ha, and 44.55 tons/ha, respectively. WDRVI and NDVI were optimal for estimation at 53 days after sowing (DAS), while RENDVI was optimal at 58 DAS. The coefficients of determination between actual productivity and estimated production were 64% for NDVI, 77% for WDRVI, and 89% for RENDVI, making RENDVI the best index for productivity with the lowest deviation from actual field productivity, recorded at 46.53 tons/ha across 11 test plots. Conclusion. RENDVI is superior for estimating with the highest level of accuracy compared to NDVI and WDRVI. **Conclusion.** RENDVI is superior for estimating with the highest level of accuracy compared to NDVI and WDRVI.

Keywords: Vegetation Index; NDVI; Rice productivity; RENDVI; WDRVI

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGAJUAN SKRIPSI iiii
HALAMAN PENGESAHAN iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA v
UCAPAN TERIMA KASIH vi
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR LAMPIRAN xii
BAB I. PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2.Tujuan dan Manfaat 2
1.3.Batasan Penelitian 2
1.4. Ruang Lingkup Penelitian 3
BAB II. METODE PENELITIAN 4
2.1. Tempat dan Waktu 4
2.2. Bahan dan Alat 4
2.3. Metode Penelitian 5
2.4. Penentuan petak sampel 5
2.5. Pengolahan Data 6
2.5.1 Pengolahan Citra Sentinel-2 6
2.5.2 Menghitung Indeks Vegetasi 6
2.5.3. Analisis Data 9
2.5.4. Estimasi dan Validasi 10
2.6. Diagram Alir Peneitian 11
BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN 12

3.1. Transformasi Indeks Vegetasi 12
3.2. Hubungan Data Citra Sentinel-2 Terhadap Umur Tanaman Padi 13
3.2.1 Fase tumbuh padi transformasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index)* 13
3.2.2 Fase tumbuh padi transformasi WDRVI *(Wide Dynamic Range Vegetation Index)* 15
3.2.3 Fase tumbuh padi transformasi RENDVI (*Red Edge Normalized Difference Vegetation Index)* 17
3.4. Model Estimasi Produktivitas Padi 21
3.4. Estimasi Produktivitas Padi 25
3.5. Validasi Model Regresi 26
BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN 29
4.1. Kesimpulan 29
4.2. Saran 29
DAFTAR PUSTAKA 30
LAMPIRAN 34

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian dan Publikasi yang Relevan 3

Tabel 2 . Daftar Band Spektral Sentinel-2 6

Tabel 3. Klasifikasi fase tumbuh tanaman padi berdasarkan nilai NDVI 7

Tabel 4. Pedoman interpretasi nilai koefisien korelasi (r) Interval Koefisien Tingkat Hubungan 9

Tabel 5. Pedoman interpretasi nilai koefisien determinasi (R2) 10

Tabel 6. Model Estimasi Produktivitas 25

Tabel 7. Estimasi produktivitas umur tanaman NDVI dan WDRVI 53 HST dan RENDVI 58 HST 26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta lokasi penelitian estimasi produktivitas. 4
Gambar 2. Diagram alir penelitian 11
Gambar 3. (a) Citra Sentinel-2 sebelum transformasi, (b) Citra Sentinel -2 setelah transformasi. 12
Gambar 4. Fase tumbuh tanaman padi berdasarkan transformasi NDVI ... 13
Gambar 5. Grafik nilai NDVI pada setiap petakan sawah akuisisi 05 Maret 2023 hingga 19 Mei 2023. 14
Gambar 6. Fase tumbuh tanaman padi berdasarkan transformasi WDRVI. 16
Gambar 7. Grafik nilai WDRVI pada setiap petakan sawah akuisisi 05 Maret 2023 hingga 19 Mei 2023. 17
Gambar 8. Grafik nilai RENDVI pada setiap petakan sawah 05 Maret 2023 - 19 Mei 2023..... 19
Gambar 9. Grafik hubungan antara umur tanaman padi terhadap indeks vegetasi. 20
Gambar 10. Grafik hubungan produktivitas padi dan NDVI, (a). 28 HST (b). 53 HST (c). 58 HST (d). 83 HST..... 21
Gambar 11. Grafik hubungan antara produktivitas padi dan RENDVI (a). 28 HST, (b). 53 HST, (c). 58 HST, (d). 83 HST. 22
Gambar 12. Grafik hubungan produktivitas padi dan WDRVI (a). Umur tanaman 28 HST, (b 53 HST, (c). 58 HST, (d). 83 HST. 24
Gambar 13. Grafik uji model estimasi produktivitas padi menggunakan NDVI..... 27
Gambar 14. Grafik uji model estimasi produktivitas padi menggunakan WDRVI. 27
Gambar 15. Grafik uji model estimasi produktivitas padi menggunakan RENDVI..... 28
Gambar 16. Peta kenampakan lahan 9 hst, a). Citra sentinel, b). Foto lapangan, c). Gambar Satelit. 35
Gambar 17. Kondisi lahan sawah di Lapangan. 38
Gambar 18. Sebaran produktivitas menggunakan NDVI. 38
Gambar 19. Sebaran produktivitas menggunakan WDRVI. 39
Gambar 20. Sebaran produktivitas menggunakan RENDVI. 39

Gambar 21. Proses Pengolahan tanah Petak 38 pada 1 Desember 2022 dan Proses pembibitan pada 19 Januari 2023. 40
Gambar 22. Petak sebelum banjir 8 Februari dan setelah petak 35 Terendam Banjir 20 Februari 2023. 40
Gambar 23. Petak 21 didominasi gulma dan jaring pengusur hama burung pada petak 40..... 40
Gambar 24. Proses pengambilan data produksi. 40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Produktivitas Padi Di Desa Borikamase Berdasarkan Pengamatan Lapangan 35

Lampiran 2. Kenampakan Sampel Sawah dengan Tansformasi Nilai NDVI 9 HST Dan Pengamatan Lapangan..... 36

Lampiran 3. Nilai Spektral NDVI, RENDVI, WDRVI 36

Lampiran 4. Grafik Hubungan Antara nilai NDVI, RENDVI, dan WDRVI dengan Produktivitas pada Umur Tanaman 9 HST 37

Lampiran 5. Tabel Nilai Indeks Vegetasi 38

Lampiran 6. Kenampakan Sampel Sawah Pengamatan Lapangan 40

Lampiran 7. Klasifikasi Tingkat Produktivitas Padi 40

Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian 42

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanaman padi memiliki tiga produk sampingan yang penting, yang memberikan kontribusi besar bagi pertanian dan industri berbasis pertanian diantaranya bulir padi, Jerami dan sekam, yang secara substansial berkontribusi pada pertanian dan peternakan. Sekitar 91% beras dunia ditanam dan dikonsumsi di Asia yang mana lebih dari setengah penduduk dunia dan sekitar dua pertiga penduduk miskin dunia tinggal (Prayitno *et al*., 2022).

Beras sebagai produk turunan padi dapat memberikan dampak besar terhadap pertumbuhan sosial dan ekonomi suatu negara terutama negara berkembang termasuk Indonesia oleh karenanya, diperlukan perhatian khusus untuk memastikan ketersedian pasokan beras (Mohidem *et al*., 2022). Untuk mengurangi dampak dari ketidak tersedianya beras sebagai bahan makanan pokok dapat dilakukan dengan melakukan estimasi untuk merencanakan peningkatan Produktivitas (Surmaini & Syahbuddin, 2016).

Estimasi Produktivitas merupakan salah satu kegiatan untuk mengetahui potensi lahan dan tingkat keberhasilan yang diperoleh dari suatu kegiatan budidaya tanaman (khairati, 2020). Estimasi Produktivitas secara konvensional biasanya dilakukan oleh penyuluh pertanian berbasis kunjungan lapangan dengan mengumpulkan data berupa hasil wawancara secara langsung kepada para petani, pengumpulan data menggunakan metode ini seringkali bersifat subyektif, lama dan mahal (Dahl, S., & Eagle, 2016). Sehingga dibutuhkan sebuah metode dengan memanfaatkan teknologi pengindraan yang memungkinkan pemantauan pertumbuhan padi secara berkala dan *real-time* sehingga petani dapat mengidentifikasi kondisi kesehatan tanaman dan potensi hasil panen dengan cepat dan lebih mudah dalam pemantauan skala luas untuk melakukan estimasi.

Metode pengumpulan data menggunakan citra satelit sentinel-2 dengan memanfaatkan indeks vegetasi dalam melakukan estimasi Produktivitas telah banyak dilakukan. Namun, sebagian besar penelitian tersebut menggunakan indeks vegetasi NDVI dengan memanfaatkan panjang gelombang *red* dan *Nir* (Xu *et al*., 2022). Meskipun popularitasnya tinggi, NDVI memiliki beberapa kelemahan terutama dalam kondisi di mana tutupan vegetasi sangat rapat sehingga dalam situasi tersebut, NDVI tidak sepenuhnya akurat karena saturasi sinyal pada nilai yang tinggi menyebabkan ketidakmampuan dalam mendeteksi variasi yang lebih halus dalam vegetasi Susteyo *et al.* (2013), dan NDVI juga memiliki keterbatasan dalam menangani efek latar belakang dan atmosfer (Tenreiro *et al*., 2021).

Sebagai respons terhadap kelemahan ini, beberapa indeks lain dikembangkan, seperti WDRVI dan RENDVI. WDRVI lebih unggul dalam mengatasi masalah saturasi yang dialami NDVI, terutama pada tingkat vegetasi yang tinggi sedangkan RENDVI lebih sensitif dalam mendeteksi perubahan kadar klorofil tanaman dan mengurangi pengaruh latar belakang tanah serta pengaruh atmosfer (Choudhury *et al.*, 2022). Estimasi Produktivitas padi menggunakan citra satelit Sentinel-2 juga

sudah pernah dilakukan salah satunya oleh Ariani, (2020) di daerah Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. Namun, masing-masing wilayah cenderung memiliki karakteristik tersendiri sehingga model estimasi yang diterapkan pada suatu wilayah belum tentu cocok dengan wilayah lainnya.

Berdasarkan uraian di atas maka penelitian estimasi produktivitas padi berdasarkan analisis indeks vegetasi menggunakan data citra Sentinel-2 dilakukan untuk mengetahui efektifitas dari indeks vegetasi modifikasi dari NDVI serta menetukan indeks terbaik yang dapat digunakan dalam mengestimasi Produktivitas padi di Desa Borikamase, Kabupaten Maros.

1.2. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji indeks NDVI, RENDVI, dan WDRVI dalam memantau perubahan fase tumbuh tanaman padi dan untuk melakukan estimasi produktivitas padi guna mengetahui efektivitas dari ketiga indeks tersebut.

Adapun kegunaan dari penelitian ini yakni sebagai sumber informasi terkait penggunaan indeks vegetasi yang paling sesuai dalam melakukan estimasi produktivitas padi di Desa Borikamase, Kabupaten Maros.

1.3. Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup sebagai berikut:

1. Menggunakan citra Sentinel-2 akuisisi bulan Maret sampai Mei tepatnya pada masa awal pindah tanam hingga fase akhir (pematangan). Citra yang dipilih adalah citra yang memiliki tutupan awan terendah selama periode pertumbuhan padi.
2. Perhitungan estimasi produktivitas padi berdasarkan pada regresi linear sederhana hasil pengolahan NDVI, RENDVI, dan WDRVI.
3. Pengambilan sampel produktivitas dilakukan dengan metode pencatatan produktivitas secara langsung dilapangan pada beberapa petakan sawah.
4. Penelitian ini tidak membedakan varietas padi, metode pengairan, dan teknik pemupukan.
5. *Output* penelitian ini adalah model matematis hubungan antara algoritma indeks vegetasi dengan produktivitas padi.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

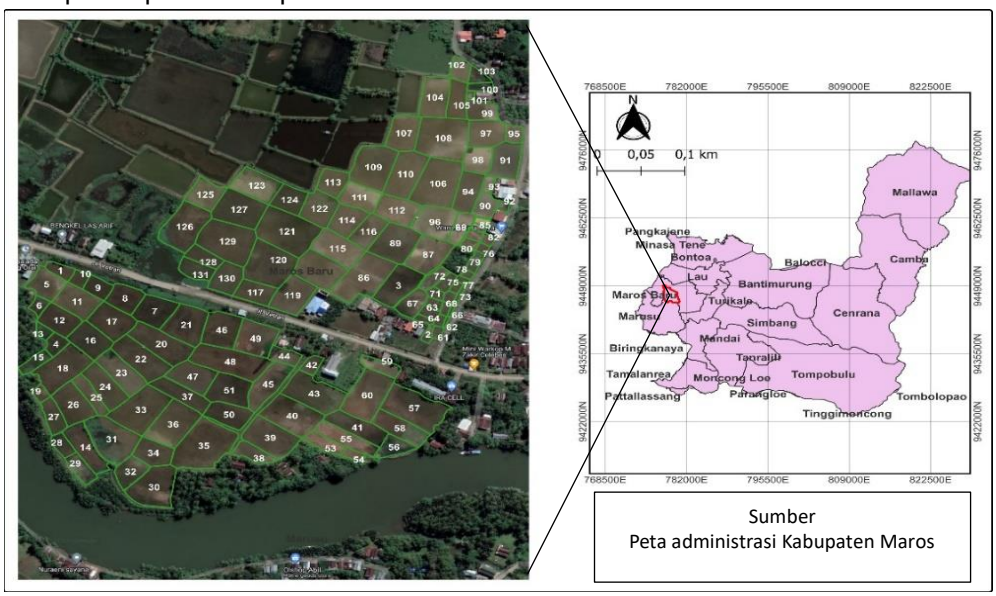
Tabel 1. Penelitian dan Publikasi yang Relevan

No	Judul	Penulis	Lokasi	Tahun
1.	Model Estimasi Produktivitas Padi menggunakan NDVI di Wilayah Kabupaten Demak	Fajri *et al. 2021*	Kabupaten Demak	2021
2.	Pendugaan Produksi Padi Berbasis Petakan Sawah Menggunakan Index Vegetasi Citra Drone Dan Sentinel-2 Pada Fase Pematangan MT 3	Mutmainna	Desa Alatengae, kecamatan Bantimurung, Kabupaten Maros	2021
3	Analisis Fase Tumbuh padi Menggunakan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index)*	Yanti *et al. 2022*	Kecamatan Sungai Tarab	2022
4	Estimasi Produksi Padi dengan Menggunakan NDVI (Normalize Difference Vegetation Indexs pada Laan Sawah Hasil Segmentasi Citra Alos	Sarono & Murti	Kabupaten Karanganyar	2016
5	Estimasi tingkat produktivitas padi berdasarkan algoritma NDVI, EVI dan SAVI menggunakan Citra Sentinel-2 Multitemporal	Ariani	Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah	2019

BAB II. METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian analisis estimasi produktivitas padi menggunakan indeks vegetasi dari data citra Sentinel-2 dilaksanakan pada bulan Februari – Juli 2023, selama satu kali musim tanam bertempat di Desa Borikamase, Kecamatan Maros Baru, Kabupaten Maros. Borikamase termasuk salah satu desa yang terletak di kabupaten Maros dengan ketinggian kurang lebih 5 meter diatas permukaan laut dengan titik koordinat wilayah penelitian terletak pada 5°00'32.04" S, 119°31'23.70" E dan jenis penggunaan lahan yang didominasi oleh tambak, lahan pertanian berupa lahan padi sawah dan sebagian kecil berupa kebun campuran dan kebun kelapa. Berikut merupakan peta lokasi penelitian.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian estimasi produktivitas.

2.2. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan data Citra Sentinel-2 yang di download pada pada situs https://dataspace.copernicus.eu/, dengan akuisisi perekaman 5 Maret 2023, 25 Maret 2023, 19 April 2023, 24 April 2023 dan 19 Mei 2023 dengan band yang digunakan yaitu *red, NIR* dan *red edge*. Data primer berupa data hasil wawancara dengan petani (umur tanaman dan data survei lapangan hasil produktivitas padi), peta administrasi kecamatan dan data shp petakan lahan sawah di Desa Borikamase, Kecamatan Maros Baru.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *handphone* yang berisi aplikasi *Open Camera,* laptop yang didalamnya terdapat *software QGIS, Microsoft Exel* serta alat tulis menulis.

2.3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode campuran (*mixed methods*), dengan menggabungkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Metode Kualitatif dilakukan dengan mengumpulkan data melalui pengamatan langsung terhadap fase pertumbuhan padi dan wawancara dengan petani kemudian melakukan metode kuantitatif dengan analisis indeks vegetasi seperti NDVI, WDRVI dan RENDVI dan pencatatan produktivitas aktual yang akan digunakan untuk mengestimasi hasil produktivitas. Data estimasi ini kemudian akan diverifikasi dengan data produktivitas lapangan yang sebenarnya, untuk melakukan validasi dan memastikan akurasi estimasi sesuai dengan Strijker *et al.* (2020), Penelitian campuran memungkinkan integrasi data kuantitatif dan kualitatif, yang dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang topik yang diteliti hal Ini juga dapat membantu memperkuat validitas dan kredibilitas temuan penelitian.

2.4. Penentuan petak sampel

Penentuan sampel menggunakan teknik *Random Sampling,* yaitu pengambilan secara acak pada beberapa petak berdasarkan petimbangan waktu panen. Dengan mengumpulkan variabel penelitian mencakup variabel independen yakni data indeks vegetasi, serta variabel dependen adalah hasil produktivitas padi yang diambil sebanyak 18 petak sebagai petak sampel untuk membangun model estimasi dan 11 petak uji model sesuai dengan (Sutrisno & Farda, 2014), petak sampel digunakan untuk melakukan pengukuran lapangan yang menjadi dasar pembentukan model hubungan antara indeks vegetasi dengan data lapangan berupa hasil produktivitas kemudian petak uji digunakan untuk mengevaluasi model yang telah dibentuk dengan membandingkan hasil estimasi dengan data lapangan yang sebenarnya.

Proses pengumpulan data berupa pengamatan umur tanaman padi dilakukan secara berkala selama periode penelitian dengan melakukan pengamatan secara langsung di lapangan dan wawancara dengan petani setempat untuk mendapatkan informasi mengenai pola pertumbuhan tanaman padi. Graha & Putra (2022), Pola pertumbuhan padi membentuk sebuah kurva parabolik terhitung sejak awal tanam hingga tanaman padi siap untuk dipanen dimana pada awal proses pertumbuhan tanaman padi mengalami peningkatan hingga mencapai puncak kemudian nilai indeks terus mengalami penurunan hingga tanaman padi siap untuk dipanen. Pola pertumbuhan ini memungkinkan untuk mengestimasi umur tanaman padi dan mengetahui kondisi tanaman secara spesifik di lapangan, Ramadhani & Jalil (2023), Pola pertumbuhan tanaman padi menunjukkan bahwa puncak pertumbuhan tanaman padi dengan nilai indeks tertinggi berada pada fase vegetatif tanaman padi.

Adapun kendala yang dialami saat pelaksanaan penelitian yakni kondisi cuaca didaerah penelitian kurang mendukung pada awal penelitian karena penelitian dilakukan pada musim hujan tepatnya pada musim tanam pertama bulan Februari 2023 sehingga menyulitkan pemantauan menggunakan citra satelit sentinel-2 karena sebagain besar citra tertutupi awan. Sebagian besar petani menanam di tanggal 7 sampai 12 Februari 2023, kemudian ditanggal 13 Februari terjadi banjir hingga

tanggal 19 Februari dan mengakibatkan padi mati pada sebagian besar petakan sawah. Padi yang masih dapat bertahan kemudian disulami namun sebagian besar petani menanam ulang pada awal Maret. Kondisi lingkungan ini berdampak pada perbedaan waktu panen.

2.5. Pengolahan Data

2.5.1 Pengolahan Citra Sentinel-2

Melakukan pengunduhan data Citra Sentinel-2 pada lokasi penelitian, dan mengolah data tersebut menggunakan aplikasi QGIS. Karena citra yang diunduh menggunakan level pemrosesan MSIL2A sehingga tidak perlu melakukan koreksi geometrik dan koreksi radiometrik, karena level pemrosesan MSIL2A telah diproses oleh ESA (*European Space Agency*) dengan menggunakan algoritma koreksi atmosferik yang disebut Sen2Cor, Sen2Cor sendiri merupakan sebuah alat pemrosesan yang digunakan untuk mengonversi data Level-1C (*radiance di Top of Atmosphere*) menjadi Level-2A (*Surface reflectance*), di mana efek atmosferik seperti hamburan Rayleigh, penyerapan oleh uap air, dan pengaruh aerosol sudah diperhitungkan dan dikoreksi (Mercier *et al*., 2020).

Data citra yang telah diunduh kemudian di lakukan pemotongan berdasarkan luasan daerah penelitian dengan memanfaatkan fitur Clip Raster pada aplikasi QGIS. Ini dilakukan untuk membatasi wilayah penelitian untuk meperkecil ukuran citra dan mempercepat proses pengolahan (Faridzie *et al*., 2023), kemudian memilih band yang akan digunakan dalam penelitian ini, yakni menggunakan band red, NIR dan *Red Edge*. Setelah itu dilakukan perhiutngan indeks menggunakan fitur *raster calculator*.

Tabel 2. Daftar Band Spektral Sentinel-2

Band	Panjang Gelombang
Band 1	*Coastal Aerosol* (443 nm)
Band 2	*Blue* (490 nm)
Band 3	*Green* (560 nm)
Band 4	*Red* (665 nm)
Band 5	*Vegetation Red Edge* (705 nm)
Band 6	*Vegetation Red Edge* (740 nm)
Band 7	*Vegetation Red Edge* (783 nm)
Band 8	NIR (842 nm)
Band 8a	*Vegetation Red Edge* (865 nm)
Band 9	*Water Vapour* (945 nm)
Band 10	SWIR – *Cirrus* (1375 nm)
Band 11	SWIR (1610 nm)
Band 12	SWIR (2190 nm)

Sumber: Ozigis *et al.,* (2018).

2.5.2 Menghitung Indeks Vegetasi

Analisis Indeks vegetasi dan analisis saluran dari band citra Sentinel-2. Indeks vegetasi yang dianalisis pada penelitian ini berupa (NDVI), (WDRVI), dan (RENDVI) indeks-indeks ini digunakan untuk melakukan klasifikasi penggunaan lahan, fase tumbuh tanaman padi serta untuk setimasi produktivitas. Berikut persamaan indeks vegetasi yang digunakan.

a. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad (1)$$

Dengan:
NIR : Band 8 (Panjang gelombang 842 nm)
Red : Band 4 (panjang gelombang 665 nm)
Rumus ini dapat digunakan untuk melakukan pengelompokan kondisi permukaan bumi karakteristik nilai yang di hasilkan seperti, jika nilai yang diperoleh rendah atau negatif maka wilayah tersebut didefinisikan sebagai tubuh air, sungai dan danau. Supidayanti & Rokhmana (2021), nilai 0,1-0,5 berarti kerapatan rendah wilayah tersebut dideteksi sebagai penutup tanah seperti jalan tanah, lapangan kosong. Sedangkan jika nilai yang diperoleh 0,5 – 0,7 maka lahan tersebut memiliki kerapatan sedang dengan jenis penggunaan lahan dapat berupa perkebunan kelapa, kebun campuran, vegetasi rerumputan dll. Jika nilai >0,7 maka kerapatan sangat tinggi berarti wilayah tersebut adalah vegetasi berhutan.

Tabel 3. Klasifikasi fase tumbuh tanaman padi berdasarkan nilai NDVI

No	Fase Tumbuh	Nilai NDVI	Tingkat Kehijauan	(MST)
1	Air	<0,137	Air / tidak bervegetasi	<3
2	Vegetatif 1	0,137 - 0,533	Kehijauan Rendah	3 - 4
3	Vegetatif 2	0,533 – 0,736	Kehijauan Tinggi	4-6
4	Generatif 1	0,736 – 0,457	Kehijauan Tinggi	6-9
5	Generatif 2	0,457 – 0,167	Kehijauan rendah	9-14
6	Bera	0,138 – 0,265	Lahan Terbuka	14-17

(Sumber: Fajri et al., 2022)

Klasifikasi kenampakan permukaan bumi menggunakan citra sentinel-2 yang dilakukan oleh Indarto *et al.* (2020), dengan memetakan lahan berbasis NDVI menggunakan citra sentinel-2 kemudian memperoleh hasil bahwa nilai rata-rata NDVI pada tanaman padi berkisar 0,479 sampai 0,656 dan nilai badan air berkisar -1 sampai 0,035. Sedangkan penelitian Sudarsono et al. (2016), yang melakukan analisis fase tumbuh padi menggunakan NDVI menyimpulkan bahwa NDVI yang rendah dapat di cirikan sebagai fase persiapan yang ditandai dengan kondisi lahan didominasi oleh air sehingga gelombang *visible-red* sebagian besar akan dipantulkan dan sebagian besar gelombang *near-infrared* akan terserap oleh air.

Peningkatan nilai NDVI terjadi saat tanaman padi memasuki fase vegetatif karena pada fase ini terjadi pertumbuhan daun yang cukup masif hingga NDVI mencapai kehijauan maksimal ini terjadi karena daun melakukan penyerapan gelombang *visible-red* sehingga semakin banyak daun maka gelombang *visible-red* akan semakin banyak terserap sedangkan sebagian besar gelombang *near-infrared* akan dipantulkan ke atmosfer Yanti *et al.* (2022), kemudian (Sukojo & Kurniawan 2021), pada penelitian yang memanfaatkan citra Sentinel-2 untuk memetakan fase pertumbuhan padi menggunakan NDVI menyatakan bahwa nilai NDVI meningkat pada saat padi memasuki fase vegetatif dan kembali menurun saat padi memasuki

fase generatif yang ditandai dengan tahap pengisian menuju tahap pematangan bulir dan memasuki fase bera saat daun menguning pada fase inilah nilai NDVI mencapai penurunan yang sangat signifikan dan akan mencapai nilai minimum hal ini terjadi karena menurut Bourega *et al.* 2023), Korelasi yang rendah saat umur tanaman memasuki fase generatif akhir atau fase pematangan disebabkan oleh perubahan warna dari hijau menjadi kekuningan akibat penuaan daun tanaman. Hasil penelitian Graha & Putra (2022), menyimpulkan bahwa NDVI dapat digunakan dalam menduga umur tanaman padi sehingga masing-masing indeks memiliki kemampuan tersendiri dalam melakukan pendugaan pertumbuhan.

b. Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (RENDVI)

RENDVI sangat sensitif terhadap vegetasi, klorofil, fotosintesis tanaman, serta faktor lainnya. Pantulan daun pada wilayah spektrum merah dapat dideteksi sebagai klorofil sesuai dengan Liu Hou *et al*. (2017). Indeks vegetasi RENDVI berbeda dari NDVI dengan menggunakan pita disepanjang tepi merah, bukan di puncak serapan dan reflektansi utama.

Menurut Sims & Gamon (2002), RENDVI memanfaatkan sensitivitas tepi merah vegetasi terhadap perubahan kecil pada kandungan daun kanopi, celah tanaman, dan penuaan pada daun. Nilai indeks ini berkisar antara -1 hingga 1. Kisaran umum untuk vegetasi hijau adalah 0,2 hingga 0,9. RENDVI merupakan indeks hasil modifikasi dari NDVI yang di buat untuk mengatasi kelemahan- kelemahan NDVI diantaranya NDVI akan jenuh pada area dengan kerapatan yang sangat tinggi atau saat semua permukaan tanah tertutupi tanaman. Selain itu, kemampuan NDVI di awal tanam cukup rendah karena NDVI sulit dalam memprediksi klorofil halus dari tanam padi pada masa awal pindah tanam.
dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{RENDVI}=\frac{(\text{NIR-Red edge})}{(\text{NIR+Red edge})} \qquad (2)$$

Dengan:
NIR : Band 8 (Panjang gelombang 842 nm)
Red Edge : Band 5 (Panjang Gelombang 705 nm)

Pita *Red Edge* dapat digunakan untuk mendeteksi tanda-tanda stress awal pada vegetasi seperti stress air dan kekurangan nutrisi dan dapat bekerja secara optimal pada daerah dengan kerapatan biomassa yang tinggi (Imran et al., 2020).

c. *Wide Dynamic Range Vegetation Index* (WDRVI)

WDRVI adalah salah satu indeks vegetasi yang digunakan untuk memantau pertumbuhan tanaman dan memperkirakan produktivitas lahan tanaman. Secara khusus WDRVI dirancang untuk mengatasi masalah-masalah pada NDVI terutama masalah saturasi saat kerapatan tinggi, yang membuat indeks ini jauh lebih akurat dibandingkan NDVI saat kerapatan biomassa tinggi karena menggunakan koefisien pembobotan dan WDRVI memiliki hubungan yang kuat terhadap hasil panen (Miralda, 2022).

Indeks vegetasi memperhitungkan perbedaan reflektansi inframerah dekat dan merah, serta reflektansi total, dan lebih sensitif terhadap vegetasi dengan tingkat biomassa tinggi dibandingkan dengan indeks vegetasi lainnya. Oleh karena itu, nilai WDRVI tertinggi pada tanaman padi berada pada masa vegetatif WDRVI umumnya digunakan untuk memantau pertumbuhan dan juga dapat digunakan untuk menilai kesehatan dan kekuatan vegetasi serta telah terbukti lebih efektif daripada indeks vegetasi lainnya di daerah dengan gangguan atmosfer yang tinggi atau dengan tutupan vegetasi yang padat (Setyowati & Murti 2015).

Menurut Miralda (2022), bahwa WDRVI lebih andal digunakan dalam estimasi dibandingkan dengan indeks lain serta mampu mengidentifikasi tanaman lebih baik dibandingkan dengan NDVI. namun, selain kelebihan WDRVI juga memiliki kelemahan diantaranya efektifitasnya akan berkurang pada area dengan kerapatan biomassa rendah dan tergantung kondisi lingkungan.

$$WDRVI=\frac{(0,12\times NIR-Red)}{(0,12\times NIR+Red)} \quad (3)$$

Dengan:

NIR : Band 8 (Panjang gelombang 842 nm)

Red : Band 4 (panjang gelombang 665 nm)

Koefisien pembobotan dari WDRVI berbeda pada setiap wilayah sehingga dibutuhkan percobaan khusus terhadap koefisien yang sesuai. Peda persamaan 3, NIR adalah reflektansi inframerah dekat dan Red adalah reflektansi merah.

Persamaan ini digunakan untuk mengukur kandungan vegetasi pada suatu area dengan membandingkan reflektansi inframerah dekat dan merah. Nilai WDRVI yang dihasilkan dapat digunakan untuk memantau pertumbuhan tanaman dan memperkirakan produktivitas lahan tanaman (Miralda, 2022).

2.5.3. Analisis Data

Nilai rata-rata indeks vegetasi dari masing-masing petakan sawah dan melakukan analisis hubungan antara nilai indeks Vegetasi dan produktivitas pada *Microsoft excel*. Analisis secara statistik dilakukan untuk mengetahui hubungan antara indeks vegetasi dengan umur dan produktivitas tanaman padi. analisis statistik yang dimaksud adalah analisis korelasi dan regresi. Koefisien korelasi yang diperoleh dapat menunjukkan derajat kekuatan antara hubungan nilai indeks vegetasi dengan produktivitas yang dilakukan pengambilan data secara langsung di lapangan. Berikut disajikan tabel interpretasi koefisien korelasi yang ditentukan.

Tabel 4. Pedoman interpretasi nilai koefisien korelasi (r) Interval Koefisien Tingkat Hubungan

Rentang Nilai	Kategori
0,00 – 0,199	Sangat Lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,4 – 0,599	Sedang
0,6 – 0,799	Kuat
0,8 – 1,000	Sangat Kuat

Sumber : Sugiyono (2014).

Tabel 5. Pedoman interpretasi nilai koefisien determinasi (R2)

Rentang Nilai	Kategori
0	Tidak ada hubungan
0,01 – 0,19	Hubungan Sangat Lemah
0,20 -0,29	Hubungan Lemah
0,40 – 0,69	Hubungan Sedang
≥ 0,7	Hubungan Kuat

Sumber: Al Ramadhani & Jalil (2023).

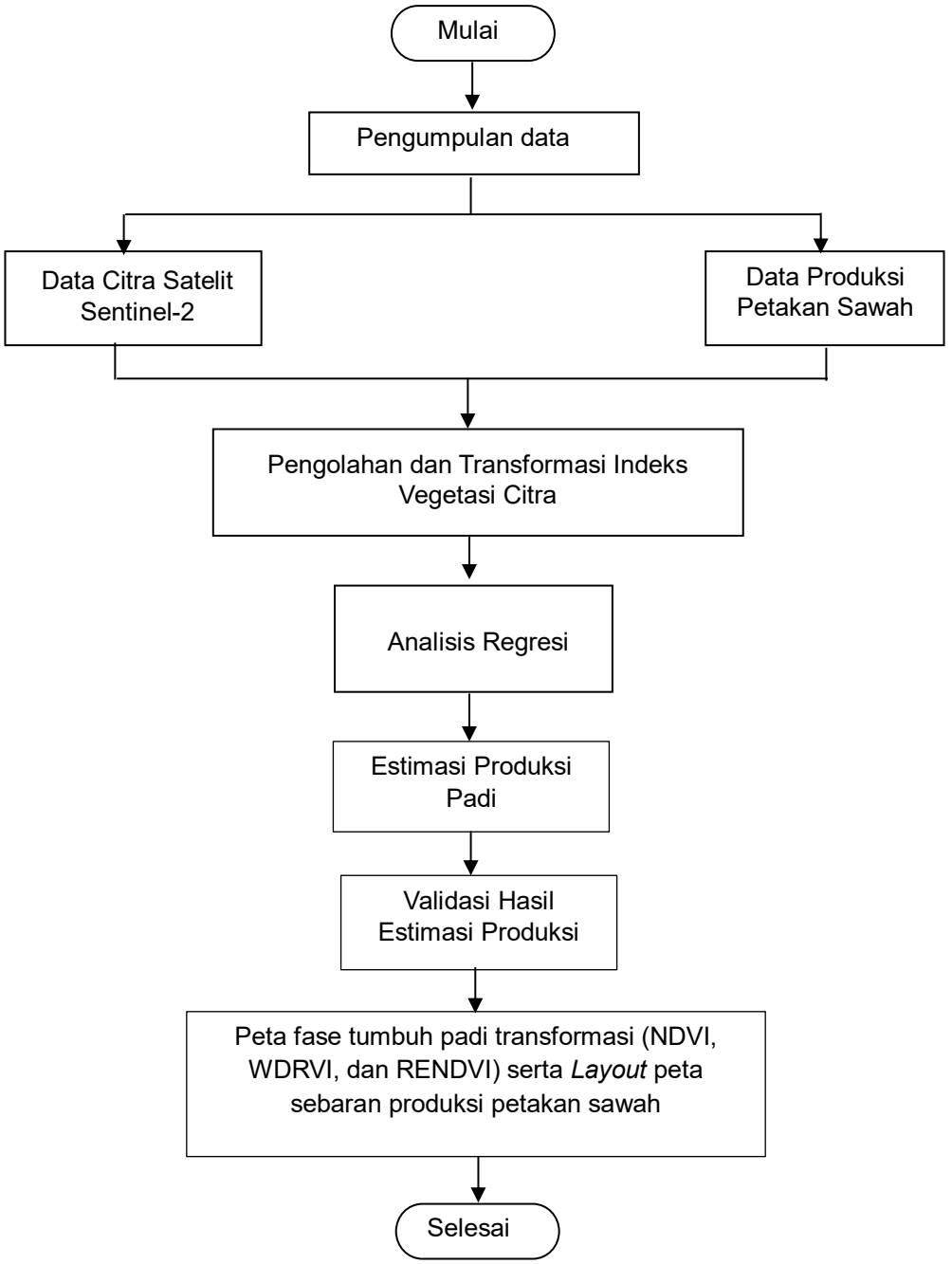
Hasil dari analisis regresi digunakan untuk melakukan Pemodelan estimasi produktivitas padi menggunakan data indeks vegetasi dari citra sentinel-2. Indeks vegetasi yang digunakan dalam hal ini adalah indeks vegetasi NDVI, WDRVI, RENDVI dan NDWI. Layout peta dibuat berdasarkan hasil analisis hubungan indeks vegetasi dengan produktivitas tanaman padi dari masing-masing petakan sawah dengan pemilihan model yang memiliki nilai R^2 tertinggi dan SE terendah dijadikan sebagai model terbaik untuk melakukan prediksi. kemudian dilakukan akurasi model dengan membandingkan hasil estimasi produktivitas padi dengan hasil aktual yang diperoleh di lapangan.

2.5.4. Estimasi dan Validasi

Mengambil persamaan dari hubungan antara nilai indeks vegetasi dan produktivitas padi kemudian memilih berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2), nilai koefisien determinasi digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik model yang diperoleh dapat menjelaskan variabilitas dalam data produktivitas padi berdasarkan nilai indeks vegetasi. Bentuk persamaan dinilai dari koefisien determinasi tertinggi dengan Standar *Error* terendah merupakan model terbaik yang akan digunakan untuk melakukan estimasi produktivitas padi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dari hasil estimasi yang dilakukan dengan cara melakukan analisis regresi linier sederhana. Regresi linear sederhana adalah metode statistik yang digunakan untuk memprediksi hubungan antara dua variabel, yaitu variabel independen (X) dan variabel dependen (Y) (Wulandari & Rumini, 2023). Model regresi ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil estimasi dengan data yang diperoleh secara langsung yang dinilai dari nilai koefisien determinasi dengan standar error estimasi produktivitas.

Validasi hasil estimasi produktivitas padi menggunakan indeks vegetasi dapat dilakukan dengan menggunakan nilai R^2 tertinggi dan standar error terendah antara hasil estimasi dan hasil yang diperoleh di Lapangan. Nilai R^2 menunjukkan persentase variasi yang dapat dijelaskan oleh model regresi linear, sedangkan standar error menunjukkan kemungkinan kesalahan hasil estimasi (Yuliana & Sigit, 2019). Model regresi terbaik adalah persamaan estimasi produktivitas berdasarkan penggunaan indeks vegetasi memiliki nilai r terbesar dan SE terkecil yang selanjutnya digunakan untuk membuat model (Purhartanto *et al*., 2017).

2.6. Diagram Alir Peneitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian