

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Padi (*Oryza sativa* L.) adalah tanaman pertanian yang berkontribusi signifikan pada ketahanan pangan global dan menjadi sumber pangan utama bagi lebih dari 33% populasi dunia (X. Liu et al., 2016; L. Wang et al., 2025). Tanaman padi juga merupakan tanaman pangan utama di Indonesia, termasuk Provinsi Sumatera Barat (Qomariyati et al., 2022). Berdasarkan Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (2025) tingkat konsumsi beras di Sumatera Barat lebih tinggi dari tingkat nasional dengan rata-rata konsumsi sebesar 96,06 kg/kapita/tahun, sedangkan rata-rata nasional sebesar 92,34 kg/kapita/tahun pada tahun 2024. Menurut Badan Pusat Statistik (2025) Provinsi Sumatera barat memproduksi 1,356 juta ton padi dan ± 785 ribu ton beras pada tahun 2024, menunjukkan penurunan produksi padi dibandingkan pada tahun 2023 dengan produksi sebesar 1,482 juta ton padi. Dalam kondisi ini, perlu dilakukan peningkatan produksi padi untuk menjaga stabilitas pangan nasional maupun daerah. Namun, keterbatasan ketersediaan lahan yang dapat dibudidayakan sangat terbatas. Oleh karena itu, peningkatan produksi dapat dilakukan dengan peningkatan hasil per hektar. Salah satu indikator yang berpengaruh signifikan terhadap peningkatan hasil adalah pengelolaan kebutuhan nitrogen (X. Liu et al., 2016).

Nitrogen merupakan unsur hara esensial yang berperan penting dalam sintesis nukleotida, asam amino dan klorofil, sehingga sangat menentukan pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman, serta produktivitas tanaman (B. Wang et al., 2022). Kekurangan kandungan nitrogen alami di dalam tanah yang tidak dapat diserap dan digunakan secara optimal oleh tanaman berpotensi pada penurunan kualitas hasil panen, karena dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Oleh karena itu, pemupukan menjadi salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan unsur hara makro (N) dalam meningkatkan hasil padi (B. Wang et al., 2022; H. Wu et al., 2018). Namun, penerapan nitrogen yang tidak tepat memiliki dampak negatif yang tidak hanya membatasi hasil padi mencapai produksi maksimalnya, tetapi juga dapat menyebabkan pemborosan sumber daya lahan dan menjadi ancaman potensial bagi lingkungan (Wantasen et al., 2025). Oleh karena itu, penerapan

manajemen nitrogen yang tepat perlu dilakukan dalam mengoptimalkan hasil tanaman dan keberlanjutan lingkungan.

Pemupukan tradisional seringkali dilakukan petani berdasarkan pengalaman dan kebiasaan atau rekomendasi yang bersifat umum tanpa mempertimbangkan dinamika penyerapan nitrogen oleh tanaman padi. Hal ini menyebabkan penggunaan pupuk yang tidak tepat (L. Wang et al., 2025). Pertanian presisi adalah pendekatan manajemen pertanian yang bertujuan mengoptimalkan pengelolaan input untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, seperti pupuk yang diberikan sesuai kebutuhan spesifik tanaman, serta dapat meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan (Cai et al., 2025). Saat ini, teknik aplikasi nitrogen (N) yang presisi dilakukan dengan integrasi citra satelit yang memungkinkan pemantauan kondisi tanaman secara spasial dan temporal melalui indikator vegetasi yang menunjukkan status hara nitrogen tanaman. Integrasi citra satelit menghasilkan peta spasial serapan nitrogen yang menunjukkan variabilitas lahan secara detail, sehingga dapat mengidentifikasi zona yang kekurangan atau kelebihan nitrogen (Agustina et al., 2024). Efisiensi pemupukan sangat bergantung pada informasi spasial penyerapan nitrogen untuk merumuskan strategi penerapan pupuk yang tepat dosis, tepat waktu dan tepat lokasi (Abdullah et al., 2024).

Metode umum yang digunakan dalam analisis kandungan nitrogen adalah metode *Kjeldahl*. Metode *Kjeldahl* merupakan metode analisis kimia klasik yang digunakan dalam menentukan total kandungan nitrogen pada bahan organik termasuk jaringan tanaman. Metode ini akurat dalam menghitung kandungan nitrogen berdasarkan analisis laboratorium menggunakan sampel biologis (Agustina et al., 2024). Namun metode *Kjeldahl* tidak bersifat spasial, sehingga tidak mampu mempresentasikan variabilitas spasial penyebaran nitrogen dalam wilayah yang luas. Selain itu membutuhkan SDM, biaya operasional tinggi dan kurang mendukung dalam penentuan zona manajemen pemupukan.

Soil Plant Analysis Development (SPAD) merupakan salah satu alat yang dirancang untuk menentukan konsentrasi klorofil pada daun dan telah menjadi metode populer untuk memperkirakan kandungan nitrogen pada daun padi. Keberhasilan pengukuran SPAD dipengaruhi oleh faktor seperti varietas padi, tahap pertumbuhan, posisi daun dan titik pengambilan sampel pada daun (F. F. Lin et al.,

2010). Hasil pengukuran dengan SPAD dapat diperoleh langsung di lapangan dan hasil pengamatan dapat digunakan sebagai data referensi untuk mengkalibrasi estimasi berbasis penginderaan jauh. Meskipun SPAD alat diagnostik yang sederhana dalam memantau status nitrogen, namun pada alat ini adanya indeks kritis yang tidak konsisten dalam rekomendasi pupuk nitrogen untuk posisi daun yang berbeda dan titik pengukuran yang berbeda pada daun yang sama (Vishwakarma et al., 2023).

Keterbatasan alat SPAD dalam mempresentasikan variasi spasial penyerapan nitrogen mendorong pemanfaatan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) dengan pendekatan indeks vegetasi dalam memperkirakan kandungan nitrogen. Penggunaan *remote sensing* dalam analisis kandungan nitrogen sangat efektif dalam menangkap variasi spasial dalam cakupan wilayah yang luas, serta efisien dari segi waktu, mengemat biaya dan pengelolaan tanaman berkelanjutan (Fita et al., 2024). *Sentinel-2* merupakan teknologi *remote sensing* yang digunakan dalam menganalisis tingkat serapan nitrogen padi melalui analisis spektrum cahaya yang dihasilkan oleh tanaman padi. *Sentinel-2* menyediakan citra dengan resolusi spasial, spektral dan temporal tinggi. *Sentinel-2* memiliki pita spektral pada wilayah *red*, *red-edge* dan NIR yang sensitif terhadap kandungan klorofil daun (Clevers & Gitelson, 2013). Klorofil daun merupakan salah indikator dalam menentukan status nitrogen tanaman, oleh karena itu pemanfaatan indeks vegetasi berbasis *red-edge* seperti NDRE menjadi relevan untuk mengestimasi status nitrogen tanaman.

Indeks NDRE (*Normalized Difference Red Edge*) adalah indikator vegetasi yang lebih baik daripada indeks NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) karena NDRE memiliki tingkat akumulasi klorofil yang tinggi, yaitu cahaya *red-edge* dengan panjang gelombang 717nm yang mampu menembus ke daun lebih dalam sehingga kecil kemungkinan cahaya *red-edge* diserap oleh kanopi tanaman. Sedangkan indeks NDVI menggunakan band *red* dengan panjang gelombang adalah 668nm, sehingga cahaya *red* tidak dapat menembus lapisan daun karena klorofil memiliki serapan maksimum pada band *red* (Fatmawati & Ruchlihadiana, 2024). Sehingga, analisis indeks NDRE berbasis *sentinel-2* akan menghasilkan pola sebaran nitrogen tanaman padi secara spasial, sehingga perbedaan kadar nitrogen dapat diidentifikasi.

Dengan demikian, pemupukan dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman untuk meningkatkan produktivitas tanaman, serta meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan mengurangi pemborosan input. Pemanfaatan nitrogen secara efisien dalam produksi pertanian sangat penting untuk hasil dan kualitas, keselamatan lingkungan, serta aspek ekonomi. Pemupukan berbasis kebutuhan spasial dapat menurunkan emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian dan mengurangi resiko pencemaran tanah dan eutrofikasi air akibat kelebihan nitrogen (Perich et al., 2021). Oleh karena itu, peningkatan efisiensi penggunaan pupuk penting untuk meningkatkan hasil pertanian, mengurangi biaya produksi dan menjaga kualitas lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah kegiatan yang dilakukan adalah:

1. Bagaimana tingkat variabilitas spasial penyerapan nitrogen pada tanaman padi di wilayah penelitian yang dapat diidentifikasi menggunakan data citra satelit?
2. Bagaimana hubungan antara nilai indeks NDRE dengan status nitrogen tanaman padi pada berbagai fase pertumbuhan?
3. Bagaimana pemetaan spasial penyerapan nitrogen dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona manajemen pemupukan presisi pada lahan padi?
4. Bagaimana pemanfaatan informasi spasial berbasis satelit dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk nitrogen serta mendukung pengambilan keputusan dalam kebijakan pemupukan presisi?
5. Apa implikasi penerapan pemupukan berbasis variabilitas spasial nitrogen terhadap produktivitas padi dan keberlanjutan lingkungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah:

1. Mengukur penyerapan nitrogen tanaman padi secara kuantitatif.
Mengestimasi jumlah nitrogen yang diserap tanaman padi menggunakan data citra satelit (indeks vegetasi NDRE), sehingga pengukuran tidak hanya berbasis sampel lapangan yang terbatas.
2. Mengidentifikasi dan memetakan variabilitas spasial penyerapan nitrogen.

Mengetahui perbedaan penyerapan nitrogen antar lokasi dalam satu hamparan sawah atau antar wilayah, yang disebabkan oleh variasi kondisi tanah, air, varietas, dan manajemen budidaya.

3. Mengembangkan atau memvalidasi metode berbasis satelit untuk pemantauan nitrogen padi.

Membuktikan bahwa penginderaan jauh dapat menjadi alat yang andal, efisien, dan berkelanjutan untuk memantau status nitrogen tanaman padi secara luas dan berkala.

4. Menyediakan dasar ilmiah untuk pemupukan presisi (precision fertilization).
Dengan mengetahui kebutuhan nitrogen yang berbeda-beda secara spasial, penelitian ini bertujuan mendukung penerapan pemupukan yang tepat dosis, tepat waktu, dan tepat lokasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan adalah:

1. Memandu perumusan kebijakan pemupukan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.
2. Hasil kegiatan dapat digunakan oleh pengambil kebijakan untuk:
 - a. Mengurangi pemborosan pupuk nitrogen
 - b. Menekan dampak lingkungan (emisi N_2O , pencemaran air)
 - c. Meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan produktivitas padi
3. Mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian.

Secara jangka panjang, tujuan akhir kegiatan ini adalah meningkatkan hasil padi secara berkelanjutan dengan input pupuk yang lebih efisien berbasis data spasial.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam laporan teknik ini adalah:

1. Lokasi studi kasus adalah sawah Kecamatan Koto Tangah Kota Padang
2. Pengamatan dilakukan pada satu Musim Tanam
3. Kegiatan merupakan studi observasional

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan laporan teknik ini adalah:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi teori dan referensi pendukung terkait tanaman padi dan kebutuhan nitrogen, dinamika nitrogen di lahan sawah, variabilitas spasial dalam lahan pertanian, penginderaan jauh dalam pertanian, indeks vegetasi untuk estimasi nitrogen, estimasi serapan nitrogen berbasis satelit, pertanian presisi (*precision agriculture*), pemupukan nitrogen pada padi, kebijakan pemupukan presisi, integrasi SIG dalam analisis spasial, dan penelitian terdahulu (*state of the art*).

BAB 3 METODOLOGI PELAKSANAAN

Pada bab ini menjelaskan tentang lokasi dan waktu kegiatan, teknik pengumpulan data, dan tahapan kegiatan mulai dari pengambilan sampel, analisis kandungan nitrogen, pengolahan data citra satelit sentinel-2, analisis korelasi ndre dengan kandungan nitrogen, pembuatan peta distribusi serapan nitrogen tanaman padi, dan analisis rekomendasi pemupukan nitrogen tanaman.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini merupakan inti dari laporan Teknik yang memuat deskripsi lokasi studi kasus, Indeks Normalized Difference Red Edge (NDRE) tanaman padi, kandungan nitrogen tanaman padi, model estimasi serapan nitrogen tanaman padi, peta distribusi serapan nitrogen tanaman padi, rekomendasi pemupukan nitrogen tanaman padi.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini memberikan hasil kajian, kesimpulan dan saran dari kajian laporan Teknik kuantifikasi variabilitas spasial penyerapan nitrogen padi berbasis satelit untuk memandu kebijakan pemupukan presisi

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN