

# Rekomendasi Jumlah Pupuk Urea untuk Tanaman Padi berdasarkan NDVI *Clustering* pada Citra Multispektral

HERI ANDRIANTO, TIMOTHY AUSTIN SIRAIT

Teknik Elektro, Universitas Kristen Maranatha, Indonesia  
Email: [heri.andrianto@eng.maranatha.edu](mailto:heri.andrianto@eng.maranatha.edu)

*Received* 13 Juli 2023 | *Revised* 22 Agustus 2023 | *Accepted* 19 September 2023

## ABSTRAK

*Pupuk merupakan hal yang penting bagi tanaman. Nilai NDVI dari citra multispektral lahan pertanian dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan pupuk pada tanaman. Pada makalah ini, telah direalisasikan layanan rekomendasi pemupukan tanaman padi berdasarkan NDVI clustering. Citra sawah diambil menggunakan kamera Multispectral Mapir Survey 3W RGN yang dipasang pada DJI Mavic 2 Pro. Penentuan kebutuhan pupuk tanaman padi dilakukan dengan menggunakan metode K-Means clustering pada nilai NDVI. Hasil yang didapat dari proses clustering dimasukan ke dalam rumus rekomendasi pemupukan yang mengacu kepada BWD. Dari hasil pengujian menunjukan platform dapat memberikan rekomendasi pemupukan untuk tanaman padi. Selisih antara hasil rekomendasi jumlah pupuk menggunakan platform dan BWD yaitu 1.29% pada pukul 10.00 pagi, 3.35% pada pukul 12.00 siang, dan 2.40% pada pukul 04.00 sore. Selisih hasil perhitungan tersebut disebabkan karena adanya perbedaan intensitas cahaya matahari.*

**Kata kunci:** multispektral, K-Means Clustering, NDVI, platform, padi, pupuk

## ABSTRACT

*Fertilizer is a crucial component for plants. NDVI values from multispectral imagery of agricultural land can be used to determine fertilizer requirements. In this paper, a rice plant fertilization recommendation service based on NDVI clustering has been realized. Rice field images were taken using the Multispectral Mapir Survey 3W RGN camera mounted on the DJI Mavic 2 Pro. Determination of fertilizer needs for rice plants is carried out using the K-Means clustering method on the NDVI value. The results obtained from the clustering process are entered into the fertilization recommendation formula which refers to BWD. The test results showed that the platform can provide fertilizer recommendations for rice plants. The difference between the recommended amount of fertilizer using the platform and BWD is 1.29% at 10 a.m, 3.35% at 12 noon, and 2.40% at 4 p.m. The difference in the results of these calculations is due to differences in the intensity of sunlight.*

**Keywords:** multispectral, K-Means Clustering, NDVI, platform, rice, fertilizer

## 1. PENDAHULUAN

Hal penting yang dapat meningkatkan keberlangsungan produksi tanaman dan produktivitas tanaman yaitu kesehatan tanaman (**Adinugroho, 2018**). Tanaman yang sehat memiliki ciri pertumbuhan yang baik seperti batang dan daun yang segar (**Enda, 2018**). Tanaman yang sehat dapat menjalankan fungsi-fungsi fisiologisnya dengan baik, yang meliputi proses metabolisme, proses respirasi dan fotosintesis, penyerapan air, penyerapan dan translokasi zat hara. Kesehatan tanaman khususnya status Nitrogen (N) dapat diketahui melalui daun tanaman. Ketika tanaman kekurangan unsur hara, maka tanaman akan menunjukkan ciri-ciri seperti daun yang layu, produksi tanaman yang menurun dan warna daun berubah. Pemantauan kesehatan tanaman bertujuan untuk mengetahui kondisi tanaman, perubahan dan kecenderungan yang mungkin terjadi. Perkebunan merupakan areal yang luas sehingga untuk mengamati kesehatan tanaman dilakukan dengan bantuan citra (**Sukojo dan Wahono, 2019**). Untuk daerah yang luas dapat diamati melalui citra yang diperoleh dari teknik penginderaan jauh. Penggunaan citra telah banyak digunakan dalam berbagai kegiatan penelitian maupun survei diantaranya yaitu pertambangan, geologi, hidrologi, geomorfologi, kehutanan dan pertanian. Pada bidang pertanian citra *multispectral* hasil penginderaan jauh diaplikasikan pada manajemen irigasi, pengendalian penyakit, estimasi hasil, pemetaan nutrisi, fenotipe dan aplikasi manajerial lainnya (**Jafarbiglu dan Pourreza, 2022**). Citra multispektral dapat digunakan dalam mengidentifikasi vegetasi secara cepat yaitu dengan menginterpretasikan citra menggunakan *formula Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Indeks vegetasi adalah metode transformasi citra berdasarkan data spektral yang banyak digunakan untuk mengamati tumbuhan dan juga untuk berbagai kebutuhan, seperti pengaruh tanah dalam analisis vegetasi. Sehingga NDVI diharapkan juga dapat digunakan dalam menilai kesehatan tanaman dengan cara menganalisis tingkat kehijauan daun. Tingkat kehijauan daun dapat menggunakan informasi kuantitatif dari kandungan klorofil dari tanaman. Oleh karena itu, penilaian secara cepat kesehatan tanaman dengan metode NDVI menjadi penting untuk diteliti.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai penginderaan jauh menggunakan citra *multispectral* untuk *monitoring* kesehatan tanaman padi belum memiliki layanan rekomendasi jumlah pupuk urea (**Zheng, dkk, 2020**) (**Luo, dkk, 2022**) (**Liu, dkk, 2023**) (**Ma, dkk, 2023**). Selain itu, penelitian-penelitian sebelumnya melakukan pengambilan citra *multispectral* pada cuaca yang cerah berkisar antara pukul 11.00-13.30 waktu setempat (**Zheng, dkk, 2020**), antara pukul 11.00 – 13.00 waktu setempat (**Luo, dkk, 2022**), antara pukul 10.00 - 14.00 waktu setempat (**Liu, dkk, 2023**), dan antara pukul 10.00 – 12.00 waktu setempat (**Ma, dkk, 2023**). Namun, penelitian-penelitian sebelumnya belum melaporkan kapan waktu pengambilan citra *multispectral* yang terbaik. Pada makalah ini telah dikembangkan layanan rekomendasi jumlah pupuk urea untuk tanaman padi, penelitian ini juga telah melakukan pengamatan waktu pengambilan citra *multispectral* yang terbaik untuk keperluan perhitungan rekomendasi jumlah pupuk. (**Jafarbiglu dan Pourreza, 2022**).

## 2. METODE

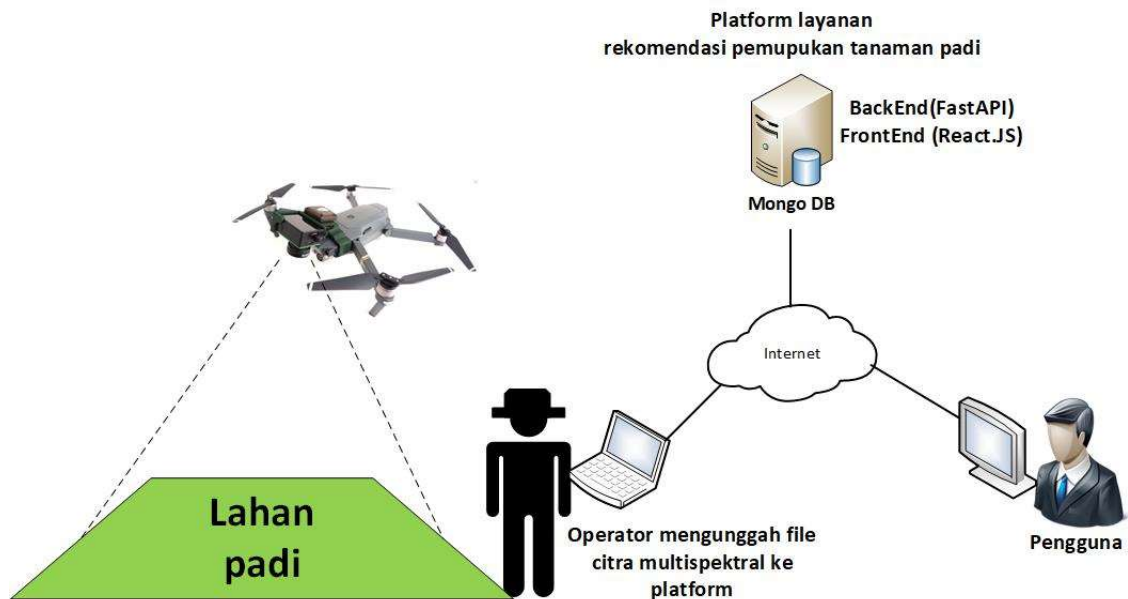
Metodologi penelitian pada makalah ini terdiri dari empat langkah yaitu menentukan kebutuhan *hardware* dan *software*, merancang dan merealisasikan layanan rekomendasi pemupukan tanaman padi, melakukan pengujian, dan melakukan evaluasi hasil pengujian. Langkah pertama yaitu menentukan kebutuhan *hardware* dan *software*. *Hardware* yang dibutuhkan yaitu kamera *Multispectral Mapir Survey 3W RGN, Survey3 Advanced GPS Receiver, Calibration targets, DJI Mavic 2 Pro* dan bagan warna daun (BWD). Gambar 1 memperlihatkan kamera *Multispectral Mapir Survey 3W RGN, Survey3 Advanced GPS Receiver,*

## Rekomendasi Jumlah Pupuk Urea Untuk Tanaman Padi berdasarkan NDVI Clustering Pada Citra Multispektral

*Calibration targets*, dan *DJI Mavic 2 Pro*. Perangkat lunak yang diperlukan yaitu *Mapir Camera Control (MCC)* untuk melakukan kalibrasi gambar multispektral. Gambar 2 memperlihatkan blok diagram layanan rekomendasi pemupukan tanaman padi.



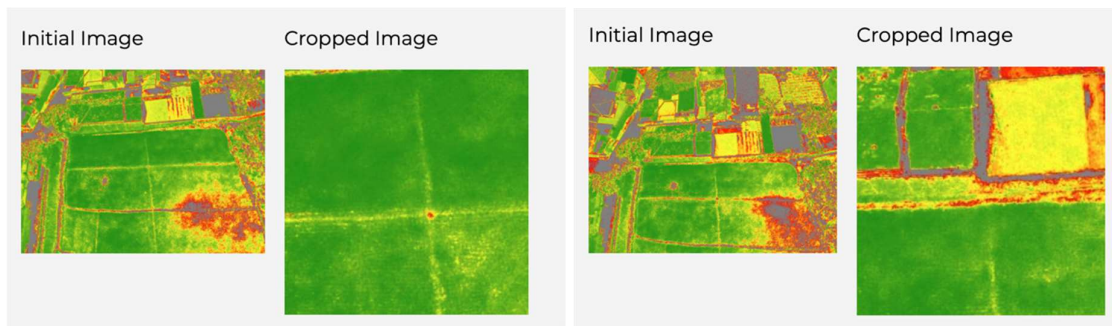
**Gambar 1.** Kamera *Multispectral* Mapir Survey 3W RGN, Survey3 Advanced GPS Receiver, Calibration targets, dan DJI Mavic 2 Pro



**Gambar 2.** Blok Diagram Layanan Rekomendasi Pemupukan Tanaman Padi

Langkah kedua yaitu merancang dan merealisasikan perangkat lunak layanan rekomendasi pemupukan tanaman padi. Layanan ini dikembangkan dengan menggunakan React.js untuk *front end*, sebuah *environment* yang memungkinkan penggunaan bahasa Javascript. React.js ini memiliki banyak *library* yang dapat digunakan untuk mengembangkan sebuah website. Untuk *back end* menggunakan bahasa perograman *python* dengan *framework Fast API* untuk memudahkan saat membuat fungsi *clustering* dengan *K-Means*. Database aplikasi web dikembangkan menggunakan database mongoDB.

Proses *clustering* dan perhitungan rekomendasi pemupukan yang digunakan pada layanan rekomendasi pemupukan terdiri dari beberapa langkah proses, yang pertama sistem melakukan pembacaan input tingkat hasil dan pembacaan citra yang telah diunggah, setelah pembacaan berhasil maka sistem akan melakukan *cropping* citra yang bertujuan untuk mengurangi objek yang tidak diinginkan seperti rumah warga di sekitar sawah atau tanaman yang tidak diinginkan untuk masuk ke dalam proses *clustering*. *Cropping* yang dilakukan berukuran 300 pixel x 300 pixel pada tengah-tengah citra yang telah diunggah. Pengambilan citra dilakukan menggunakan kamera Mapir Survey 3W RGN yang terpasang pada DJI Mavic 2 Pro, citra sawah diharuskan berada di tengah-tengah (Gambar 3a), agar saat melakukan *cropping* yang akan dihitung adalah citra sawah bukan citra objek yang tidak diinginkan seperti atap rumah warga atau tanaman lain selain tanaman padi (Gambar 3b).



**Gambar 3. (a) *Cropping* tanaman Padi yang Benar, (b) *Cropping* Tanaman Padi yang Salah**

Hasil dari *cropping* diharapkan semuanya citra sawah dan tidak ada atap rumah sehingga saat *clustering* data yang digunakan dapat dianggap valid dan % *error* (selisih) yang didapat akan lebih kecil. Setelah citra berhasil di-*cropping* maka sistem akan melakukan perubahan citra menjadi *array* 3 dimensi karena warna yang dibutuhkan dibagi menjadi 3 komponen warna yaitu *Red*, *Green*, dan *Blue*. Kemudian dilakukan proses *clustering* pada citra dengan menentukan titik *centroid*. Pada aplikasi ini dibagi menjadi 4 titik *centroid* ( $k=4$ ) dan akan dihitung jarak terhadap titik pusat kemudian pengelompokan data sesuai jarak minimum terhadap titik *cluster* dan dilihat titik pusat *cluster* masih berubah atau tidak, jika masih berubah maka proses akan berlanjut hingga titik pusat *cluster* tidak berubah lagi, kemudian hasil akan didapat dalam bentuk *array* dan sistem akan mengeluarkan tingkat hasil yang telah dipilih untuk menjadi parameter rumus mana yang akan dipakai untuk rekomendasi pemupukan. Gambar 4 memperlihatkan *flowchart* aplikasi web.

Pada saat aplikasi web terbuka maka akan disajikan halaman yang menampilkan 2 *button* yang dapat dipilih oleh *user* yaitu *button register* dan *button login*. Jika *user* memilih *button register* maka tampilan akan menyajikan halaman *register*, *user* akan melakukan registrasi pada aplikasi web, setelah registrasi berhasil maka *user* akan disajikan halaman *login*, kemudian *user* dapat melakukan *login*. Setelah *user* melakukan *login*, maka *user* akan disajikan halaman *home* yang terdapat histori citra yang pernah di-*upload* dan juga *button upload*. Jika *button upload* dipilih maka *user* akan meng-*upload* file dan juga memilih tingkat hasil yang akan dicapai seperti terlihat pada Gambar 4, setelah citra ter-*upload* maka *user* akan melihat tampilan *home*, *user* dapat memilih citra mana yang akan ditampilkan pada halaman hasil. Penentuan kebutuhan pupuk urea berdasarkan hasil dari nilai *clustering* yang mengacu pada BWD, sehingga didapatkan rumus penentuan jumlah pupuk urea sebagai berikut (Andrianto, 2022):

Rekomendasi Jumlah Pupuk Urea Untuk Tanaman Padi berdasarkan NDVI Clustering Pada Citra Multispektral

1. Jumlah pupuk urea dengan tingkat hasil 5  

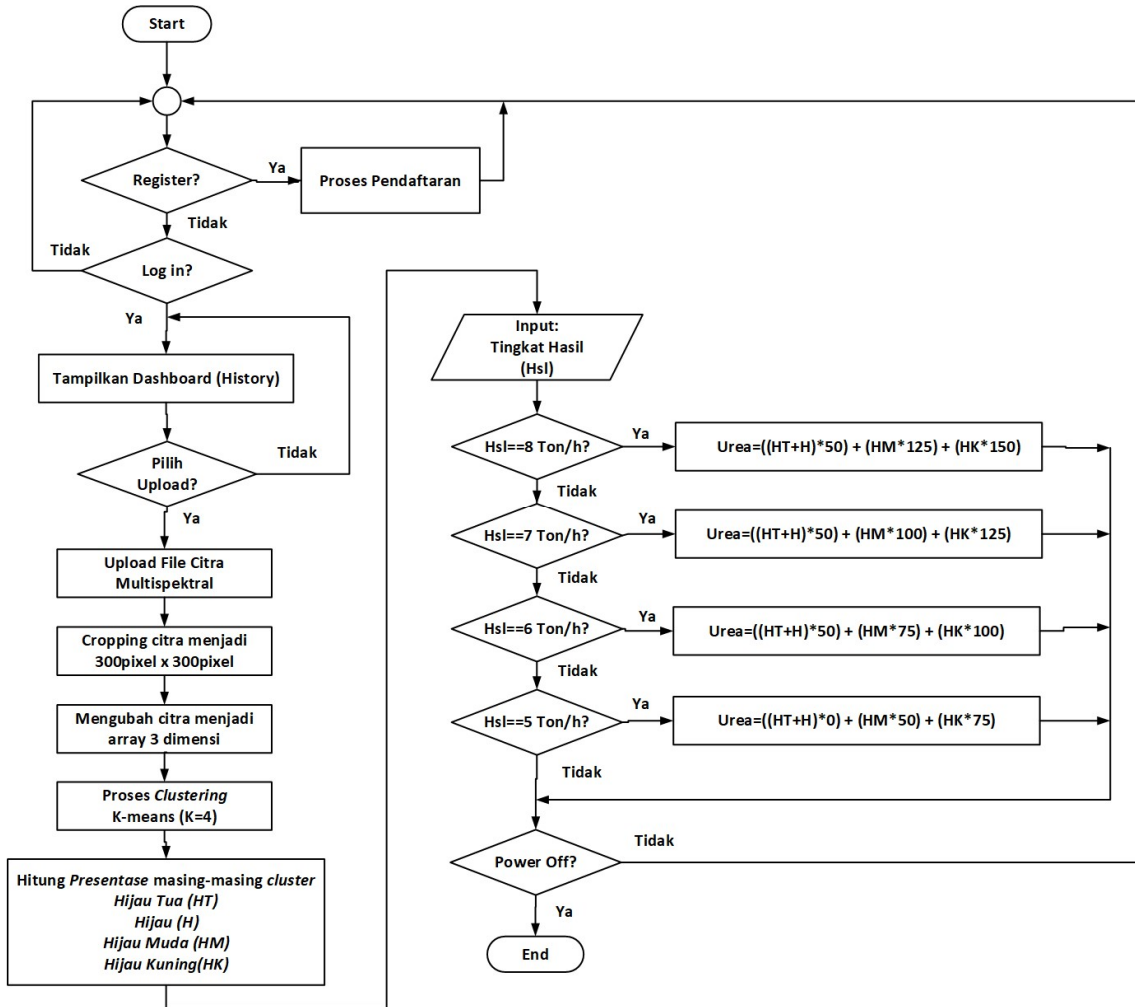
$$\text{Pupuk} = ((\text{hijau tua} + \text{hijau}) * 0) + (\text{hijau muda} * 50) + (\text{hijau kuning} * 75) \quad (1)$$
2. Jumlah pupuk urea dengan tingkat hasil 6  

$$\text{Pupuk} = ((\text{hijau tua} + \text{hijau}) * 50) + (\text{hijau muda} * 75) + (\text{hijau kuning} * 100) \quad (2)$$
3. Jumlah pupuk urea dengan tingkat hasil 7  

$$\text{Pupuk} = ((\text{hijau tua} + \text{hijau}) * 50) + (\text{hijau muda} * 100) + (\text{hijau kuning} * 125) \quad (3)$$
4. Jumlah pupuk urea dengan tingkat hasil 8  

$$\text{Pupuk} = ((\text{hijau tua} + \text{hijau}) * 50) + (\text{hijau muda} * 125) + (\text{hijau kuning} * 150) \quad (4)$$

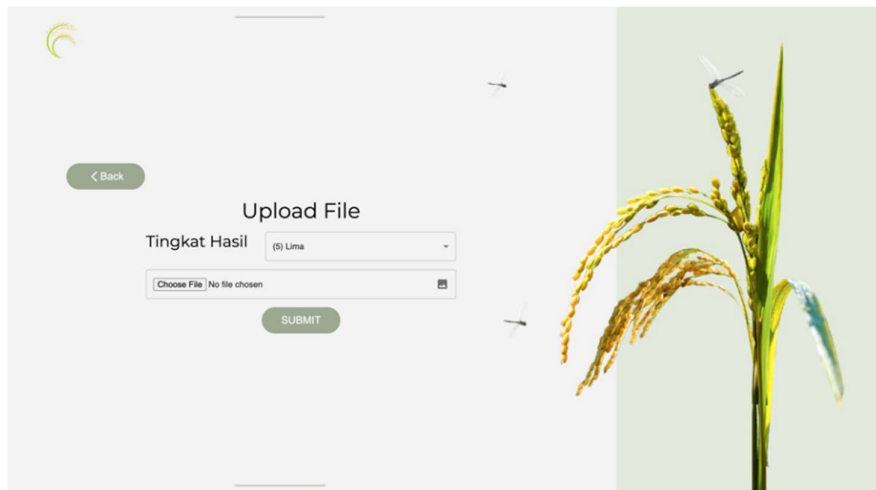
Nilai rekomendasi pemupukan akan dihitung secara otomatis melalui layanan rekomendasi pemupukan setelah *user* mengunggah citra *multispectral* sawah. *User* akan langsung dapat melihat hasil rekomendasi pemupukan pada halaman hasil.



Gambar 4. Flowchart Layanan Rekomendasi Pemupukan

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal pengujian yaitu dilakukan pengambilan citra sawah di lahan persawahan Komplek Permana Kota Cimahi menggunakan kamera Mapir Survey3W RGN yang terpasang pada DJI Mavic 2 Pro. Citra yang terdapat pada memori kamera Mapir Survey3W RGN kemudian dipindahkan ke komputer. Proses kalibrasi citra multispektral dilakukan di komputer menggunakan perangkat lunak MCC. Sebelum mengakses layanan rekomendasi pemupukan untuk tanaman padi, pengguna diminta untuk melakukan pendaftaran terlebih dahulu pada aplikasi web, setelah itu melakukan login. Citra *multispectral* yang sudah dikalibrasi kemudian diunggah ke *platform* layanan rekomendasi pemupukan tanaman padi untuk menghasilkan rekomendasi jumlah pupuk urea yang diperlukan oleh tanaman padi. Gambar 5 memperlihatkan halaman *upload* file citra *multispectral*. Gambar 6 memperlihatkan halaman hasil untuk memperlihatkan hasil rekomendasi jumlah pupuk urea untuk tanaman padi. Halaman *home* digunakan untuk halaman yang terdapat histori citra yang pernah di-*upload* dan juga *button upload* untuk rekomendasi jumlah pupuk.



**Gambar 5. Halaman *Upload* Unggah File Citra Multispektral**



**Gambar 6. Halaman Hasil Untuk Rekomendasi Jumlah Pupuk**

Rekomendasi Jumlah Pupuk Urea Untuk Tanaman Padi berdasarkan NDVI Clustering Pada Citra Multispektral

Rekomendasi jumlah pupuk urea yang dihasilkan menggunakan NDVI *clustering* kemudian dibandingkan dengan rekomendasi jumlah pupuk urea yang dihasilkan menggunakan BWD, hal ini dilakukan untuk mengetahui % *error* atau selisih dari rekomendasi jumlah pupuk yang dihasilkan oleh aplikasi web dan BWD pada sawah yang sama namun dengan citra yang diambil pada waktu yang berbeda (pagi, siang dan sore). Pengambilan data tingkat kehijauan daun padi menggunakan BWD dilakukan setelah pengambilan citra menggunakan kamera Mapir Survey3W RGN yang terpasang pada DJI Mavic 2 Pro. Pengambilan data kehijauan daun menggunakan BWD di persawahan Komplek Permana Kota Cimahi. Pengambilan data menggunakan BWD dilakukan sebanyak 16 titik sampel. Pada setiap titik tersebut dilakukan pengambilan data menggunakan BWD terhadap daun padi yang paling muda dan telah berkembang sempurna dari setiap jumputnya. Tabel 1 memperlihatkan hasil pengukuran menggunakan BWD, berupa nilai BWD dari ke 16 titik sampel pada sawah yang diteliti serta nilai rekomendasi pupuk.

**Tabel 1. Rekomendasi Jumlah Pupuk Urea berdasarkan BWD**

| Titik Sampel                 | Nilai BWD | Tingkat hasil (Ton/ha) | Nilai Rekomendasi pupuk (Kg/ha) |
|------------------------------|-----------|------------------------|---------------------------------|
| 1                            | 4         | 6                      | 50                              |
| 2                            | 4         |                        | 50                              |
| 3                            | 3-4       |                        | 75                              |
| 4                            | 4         |                        | 50                              |
| 5                            | 4         |                        | 50                              |
| 6                            | 3-4       |                        | 75                              |
| 7                            | 4         |                        | 50                              |
| 8                            | 3-4       |                        | 75                              |
| 9                            | 4         |                        | 50                              |
| 10                           | 3-4       |                        | 75                              |
| 11                           | 4         |                        | 50                              |
| 12                           | 4         |                        | 50                              |
| 13                           | 3-4       |                        | 75                              |
| 14                           | 4         |                        | 50                              |
| 15                           | 4         |                        | 50                              |
| 16                           | 4         |                        | 50                              |
| Total rekomendasi pupuk urea |           |                        | 57.81                           |

Nilai BWD yang didapat bervariasi sesuai dengan tingkat kehijauan dari tanaman padi tersebut. Nilai kuantitatif warna daun berdasarkan BWD (IRRI Leaf color chart) yaitu hijau tua=5, hijau=4, hijau muda=3, hijau kuning=2. Pengambilan data daun padi menggunakan BWD dipilih dari daun muda yang sudah berkembang sempurna dari sejumput daun padi yang ada. Nilai rekomendasi pupuk didapatkan dengan mencari nilai rata-rata dari nilai BWD yang telah diambil dari ke-16 titik sampel tersebut. Tabel 1 memperlihatkan hasil rekomendasi jumlah pupuk urea berdasarkan nilai BWD yaitu sebesar 57.81 Kg/ha.

Pengambilan citra *multispectral* dilakukan di persawahan Komplek Permana Cimahi menggunakan kamera Mampir Survey 3W dengan filter Red, Green, NIR (RGN) yang terpasang pada DJI Mavic 2 Pro. Pengambilan citra sawah tanaman padi diambil pada ketinggian 33 meter yang dilakukan sebanyak 3 kali yaitu pukul 10.00 WIB, pukul 12.00 WIB dan pukul 16.00 WIB. Intensitas cahaya diukur disetiap pengambilan citra pada waktu tertentu menggunakan aplikasi Lux Light Meter pada *smartphone android*. Gambar 7 memperlihatkan hasil perhitungan jumlah pupuk urea dan citra *multispectral* sawah pada pagi hari (10.00 WIB). Gambar 8 memperlihatkan hasil perhitungan jumlah pupuk urea dan citra *multispectral* sawah pada siang hari (12.00 WIB). Gambar 9 memperlihatkan hasil perhitungan jumlah pupuk urea dan citra *multispectral* sawah pada sore hari (16.00 WIB).



**Gambar 7. Hasil Perhitungan Jumlah Pupuk Urea dan Citra *Multispectral* Sawah pada Pagi Hari**

Intensitas cahaya pada saat pengambilan citra di pagi hari yaitu rata-rata 20.685 Lux. Hasil rekomendasi jumlah pupuk urea berdasarkan NDVI *clustering* pada citra sawah di pagi hari pada aplikasi web yaitu sebesar 58.56 kg/ha. Sehingga nilai % *error* (selisih hasil aplikasi web dibandingkan dengan hasil BWD) diperoleh dari:

$$\%error = \frac{|58.56 - 57.81|}{57.81} \times 100\% = 1.29\%$$



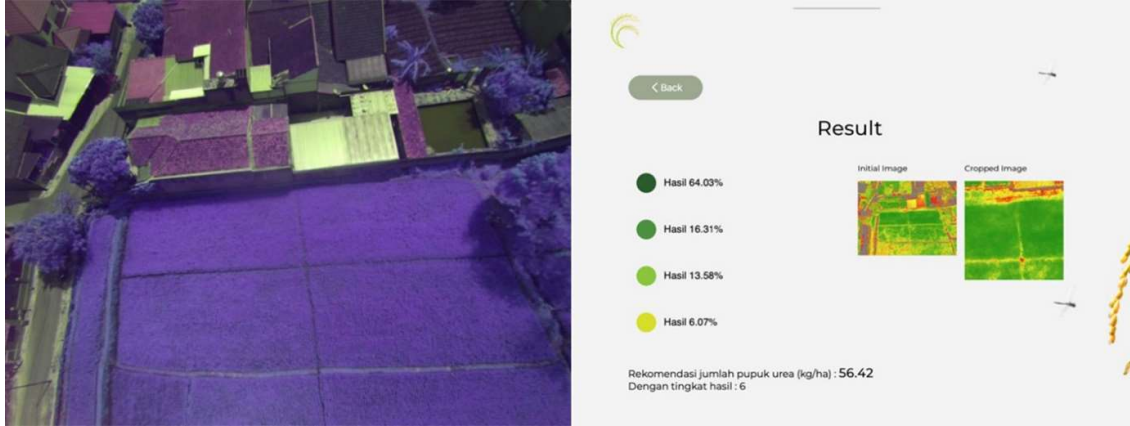
**Gambar 8. Hasil Perhitungan Jumlah Pupuk Urea dan Citra *Multispectral* Sawah pada Siang Hari**



Rekomendasi Jumlah Pupuk Urea Untuk Tanaman Padi berdasarkan NDVI Clustering Pada Citra Multispektral

Intensitas cahaya pada saat pengambilan citra di siang hari yaitu rata-rata 50.000 Lux. Hasil rekomendasi jumlah pupuk urea berdasarkan NDVI *clustering* pada citra sawah di siang hari pada aplikasi web yaitu sebesar 55.87 kg/ha. Sehingga nilai % *error* (selisih hasil aplikasi web dibandingkan dengan hasil BWD) diperoleh dari:

$$\%error = \frac{|55.87 - 57.81|}{57.81} \times 100 = 3.35\%$$



**Gambar 9. Hasil Perhitungan Jumlah Pupuk Urea dan Citra *Multispectral* Sawah pada Sore Hari**

Intensitas cahaya pada saat pengambilan citra pada sore hari yaitu rata-rata 4649 Lux . Hasil rekomendasi jumlah pupuk urea berdasarkan NDVI *clustering* pada citra sawah di sore hari pada aplikasi web yaitu sebesar 56.42 kg/ha. Sehingga nilai % *error* (selisih hasil aplikasi web dibandingkan dengan hasil BWD) diperoleh dari:

$$\%error = \frac{|56.42 - 57.81|}{57.81} \times 100\% = 2.4\%$$

Dari ketiga citra sawah (pagi, siang dan sore), dapat disimpulkan bahwa citra sawah yang memiliki nilai % *error* terkecil yaitu citra sawah pada pagi hari (10.00 WIB) dengan intensitas cahaya rata-rata 20.685 Lux seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Hasil %*Error* (Selisih) antara Nilai Rekomendasi Pupuk Urea berdasarkan NDVI *Clustering* pada Aplikasi Web dengan BWD**

| Waktu pengambilan citra | Intensitas cahaya rata-rata (Lux) | % <i>error</i> (selisih) dengan BWD |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Pagi hari (10.00 WIB)   | 20.685                            | 1.29%                               |
| Siang hari (12.00 WIB)  | 50.000                            | 3.35%                               |
| Sore hari (16.00 WIB)   | 4649                              | 2.40%                               |

Faktor pendukung pengambilan citra *multispectral* sawah pada pagi hari (10.00 WIB) yaitu intensitas cahaya yang cukup, pengambilan citra dengan sudut yang benar dan memperlihatkan seluruh objek sawah. Walaupun pengambilan data pada pagi hari dipengaruhi oleh pantulan cahaya matahari oleh objek disekitar sawah (air, tanah, dan rumah) tetapi citra tanaman padi masih dapat di-*crop* dengan baik dibandingkan dengan sore hari yang memiliki intensitas cahaya yang kurang serta objek tanaman padi lebih banyak tertutup oleh bayangan

dari objek di sekitar sawah seperti rumah, pohon dan lain-lain. Sedangkan nilai % *error* terbesar yaitu pada siang hari (12.00 WIB) dengan intensitas cahaya rata-rata 50.000 Lux, hal ini disebabkan karena pada siang hari (12.00 WIB) cahaya matahari terlalu terik/kuat sehingga mengganggu citra *multispectral*.

#### 4. KESIMPULAN

Layanan rekomendasi pemupukan tanaman padi menggunakan *K-means clustering* pada nilai NDVI citra multispektral sawah telah berhasil direalisasikan dan dapat berfungsi dengan baik. Layanan-layanan pada aplikasi web (layanan *login*, *register*, *upload*, rekomendasi jumlah pupuk urea dan histori citra *multispectral* sawah yang pernah diunggah) telah berfungsi dengan baik. Hasil perhitungan rekomendasi jumlah pupuk menggunakan citra multispektral dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari serta pantulan cahaya matahari dari air, tanah serta objek-objek lain yang ada di sekitar sawah. Dari ketiga citra *multispectral* sawah (pagi, siang dan sore), citra sawah yang memiliki nilai %*error* rekomendasi jumlah pupuk urea terkecil dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan BWD yaitu citra sawah pada pagi hari dengan %*error* sebesar 1.29%, hal ini disebabkan karena pada pagi hari memiliki intensitas cahaya yang cukup dengan intensitas cahaya rata-rata 20.685 Lux sehingga waktu terbaik untuk pengambilan citra *multispectral* sawah yaitu pada pagi hari (sekitar pukul 10.00 pagi).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Maranatha atas dukungan finansial yang telah diberikan.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Adinugroho, W. C. (2018). *Persepsi Mengenai Tanaman Sehat*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Andrianto, H. (2022). *Pengembangan Smart Farming IoT Platform Berbasis Service Oriented Architecture*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Barbedo, J.G.A. (2019). A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses. *Drones*, 3, 1-27.
- Berra EF, Gaulton R, Barr S. (2017). Commercial off-the-shelf digital cameras on Unmanned Aerial Vehicles for multitemporal monitoring of vegetation reflectance and NDVI. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 55(9), 4878–86.
- Deng L, Mao Z, Li X, Hu Z, Duan F, Yan Y. (2018). UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*, 146, 124–36.
- Enda, J. Novizan. (2018). *Mengendalikan Hama dan Penyakit Tanaman*. Jakarta: Ago Media Pustaka.

- Ghazal MA, Mahmoud ALI, Aslantas ALI, Soliman A, Shalaby A, Benediktsson JA, et al. (2019). Vegetation cover estimation using convolutional neural networks. *IEEE Access*, *7*, 132563–76.
- Guan S, Fukami K, Matsunaka H, Okami M, Tanaka R, Nakano H, et al. (2019). Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. *Remote Sens*, *11*(112), 1–19.
- Horstrand P, Guerra R, Rodriguez A, Diaz M, Lopez S, Lopez JF. (2019). A UAV platform based on a hyperspectral sensor for image capturing and on-board processing. *IEEE Access*, *7*, 66919–38.
- Jafarbiglu H, Pourreza A. (2022). A comprehensive review of remote sensing platforms, sensors, and applications in nut crops. *Comput Electron Agric*, *197*(106844), 1–23.
- Jaihuni M, Khan F, Lee D, Basak JK, Bhujel A, Moon BEUN, et al. (2021). Determining spatiotemporal distribution of macronutrients in a cornfield using remote sensing and a deep learning model. *IEEE Access*, *9*, 30256–66.
- Liu, X., Wu, X., Peng, Y., Mo, J., Fang, S., Gong, Y., ... Zhang, C. (2023). Application of UAV-retrieved canopy spectra for remote evaluation of rice full heading date. *Science of Remote Sensing*, *7*, 1-11.
- Luo, S., Jiang, X., Jiao, W., Yang, K., Li, Y., & Fang, S. (2022). Remotely Sensed Prediction of Rice Yield at Different Growth Durations Using UAV Multispectral Imagery. *Agriculture (Switzerland)*, *12*(9), 1–17.
- Ma, B., Cao, G., Hu, C., & Chen, C. (2023). Monitoring the Rice Panicle Blast Control Period Based on UAV Multispectral Remote Sensing and Machine Learning. *Land*, *12*(2), 1–15.
- Maresma Á, Ariza M, Martínez E, Lloveras J, Martínez-Casasnovas JA. (2016). Analysis of vegetation indices to determine nitrogen application and yield prediction in maize (*Zea mays* L.) from a standard UAV service. *Remote Sens*, *8*(973), 1–15.
- Rosas JTF, de Carvalho Pinto F de A, de Queiroz DM, de Melo Villar FM, Magalhães Valente DS, Nogueira Martins R. (2022). Coffee ripeness monitoring using a UAV-mounted low-cost multispectral camera. *Precis Agric*, *23*, 300–18.
- Shafi U, Mumtaz R, Iqbal N, Zaidi SMH, Zaidi SAR, Hussain I, et al. (2020). A multi-modal approach for crop health mapping using low altitude remote sensing, Internet of Things (IoT) and machine learning. *IEEE Access*, *8*, 112708–24.
- Stavrakoudis D, Katsantonis D, Kadoglidou K, Kalaitzidis A, Gitas IZ. (2019). Estimating rice agronomic traits using drone-collected multispectral imagery. *Remote Sens*, *11*(545), 1–25.

- Sukojo, B. M., Wahono. (2019). *Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Kandungan Bahan Organik Tanah*. Makara, Teknologi.
- Sunoj, S., Igathinathane, C., Saliendra, N., Hendrickson, J., dan Archer, D. (2018). Color calibration of digital images for agriculture and other applications, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, 221-234.
- Zheng, H., Ma, J., Zhou, M., Li, D., Yao, X., Cao, W., ... Cheng, T. (2020). Enhancing the Nitrogen Signals of Rice Canopies across Critical Growth Stages through the Integration of Textural and Spectral Information from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Multispectral Imagery. *Remote Sensing*, 12(957), 1-17.