

**RESPON SPEKTRAL TAJUK JAGUNG PADA BEBERAPA PERLAKUAN PEMUPUKAN*****Spectral Response of Maize Canopy to Several Fertilization Treatments*****Muhammad Ardiansyah<sup>1,2)\*</sup>, Budi Nugroho<sup>1)</sup> dan Arival Al-Fajar<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University, Jl. Meranti – Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680

<sup>2)</sup> Center for Climate Risk and Opportunity Management in Southeast Asia and Pacific, IPB University, Jl. Pajajaran – Kampus IPB Baranangsiang, Bogor, West Java 16143

<sup>3)</sup> Program Studi Manajemen Sumberdaya Lahan, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB University, Jl. Meranti – Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680

**ABSTRACT**

*Early detection of plant nutrient status during the maize cycle is important to prevent yield loss and to optimize yield and quality. This study was conducted to analyze the spectral response of the maize canopy to 10 fertilization treatments including control using a spectroradiometer. In this study, the relationship between nutrient content and spectral response was focused on leaf N levels, which were analyzed at 4 and 8 weeks after planting (WAP). Simple and multiple linear regression models were developed to study this relationship, both models based on wavelength spectrum and selected wavelength to see the relationship between spectral reflectance and leaf N content. In general, the spectral response pattern of maize canopy for each treatment at 4 and 8 WAP was similar, where the reflectance of 4 WAP being lower than 8 WAP for all wavelengths. Leaf N levels could be identified at the green wavelength of 555 nm, which was indicated by the lowest reflectance at 4 WAP and high at 8 WAP for treatment of 1 standard (STD) or the highest N dose. The low reflectance of the 555 nm wavelength of this treatment indicated that the N content in the leaves was higher at 4 WAP than 8 WAP. The red, green, and red-edge wavelengths at 4 WAP and 8 WAP showed a moderate to very strong relation with leaf N content with a coefficient of determination ( $R^2$ ) greater than 0.40. The very strong model was shown by the multiple regression model between the combination of blue, green, red, red-edge, and near-infrared spectrum for leaf N levels for both 4 WAP and 8 WAP. The selected wavelength-based model found that the relationship was very strong shown by the wavelength of 671 nm.*

*Keywords: Spectral characteristic, spectroradiometer, zea mays L.*

**ABSTRAK**

Deteksi dini status hara tanaman selama siklus tanaman penting dilakukan untuk mencegah kehilangan hasil dan mengoptimalkan hasil serta kualitasnya. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis respon reflektansi spektral tajuk jagung pada 10 perlakuan pemupukan termasuk kontrol menggunakan spektroradiometer. Pada penelitian ini hubungan antara kadar hara dan respon spektral difokuskan pada kadar N daun, yang dianalisis pada umur 4 dan 8 minggu setelah tanam (MST). Model regresi linear sederhana dan berganda dibuat untuk mempelajari hubungan tersebut baik model berbasis spektrum panjang gelombang penuh dan terpilih untuk melihat keterkaitan antara reflektansi spektral dan kadar N daun. Secara umum pola respon spektral jagung untuk setiap perlakuan pada umur 4 dan 8 MST mirip, dengan nilai reflektansi 4 MST lebih rendah dari 8 MST untuk seluruh panjang gelombang. Kadar N daun dapat diidentifikasi pada panjang gelombang hijau 555 nm, yang ditunjukkan oleh reflektansi paling rendah pada umur 4 MST dan tinggi pada umur 8 MST untuk perlakuan 1 standar (STD) atau dosis N tertinggi. Reflektansi rendah dari panjang gelombang 555 nm perlakuan ini menunjukkan bahwa kadar N pada daun lebih tinggi pada umur 4 MST dari umur 8 MST. Panjang gelombang merah, hijau dan *red-edge* pada umur 4 MST dan 8 MST menunjukkan hubungan yang sedang sampai sangat kuat dengan kadar N daun dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) lebih besar dari 0.40. Model sangat kuat ditunjukkan oleh model regresi berganda antara spektrum biru, hijau, merah, *red-edge*, dan infra merah dekat terhadap kadar N daun baik untuk 4 MST maupun 8 MST. Model berbasis panjang gelombang yang dipilih mendapatkan bahwa hubungan sangat kuat ditampilkan oleh panjang gelombang 671 nm.

Kata Kunci: karakteristik spektral, spektroradiometer, *zea mays L.*

**PENDAHULUAN**

Jagung (*Zea mays L.*) adalah salah satu tanaman pertanian penting selain padi sebagai sumber karbohidrat di Indonesia (Purwanto, 2008). Pusat Data dan Sistem Informasi (Pusdatin) Kementerian Pertanian melaporkan bawah sekitar 5.5 juta hektar (ha) jagung ditanam di Indonesia pada tahun 2020 dengan luas panen mencapai 5.16 juta ha, yang menghasilkan sekitar 24.95 juta ton pipil

kering dengan kadar air 15 persen (Kementan, 2021). Pemupukan terutama pupuk nitrogen (N) penting untuk produksi jagung tidak terbatas hanya di tanah kurang subur bahkan di tanah yang produktif. Dengan demikian, aplikasi N penting untuk menjaga pertumbuhan dan perkembangan optimal tanaman, yang secara signifikan meningkatkan hasil (Leghari *et al.*, 2016). Oleh karena itu, pemantauan hara N selama siklus tanaman merupakan parameter kunci

untuk mengoptimalkan hasil dan kualitas tanaman (Vigneau *et al.*, 2011).

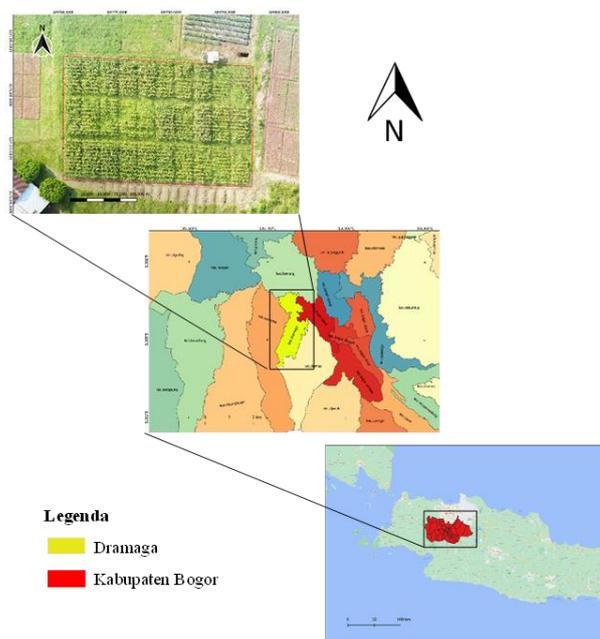
Pemberian jumlah N yang sesuai untuk produksi optimal adalah kunci produksi jagung berkelanjutan dan sekaligus mengurangi dosis pupuk N yang berlebihan untuk menghindari potensi pencemaran lingkungan (Widowati *et al.*, 2011). Oleh karena itu, penting untuk mengetahui status N jagung pada tahap pertumbuhan yang berbeda untuk dapat meningkatkan efisiensi pupuk N, pertumbuhan dan produksi optimal serta berkontribusi pada praktik pertanian yang lebih berkelanjutan (Widowati *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2014). Teknologi deteksi hiperspektral telah menjadi deteksi nutrisi tanaman karena sifatnya yang tidak merusak, cepat, dan *real-time*. Dasar penggunaan teknis penginderaan jauh untuk penilaian tanaman adalah hubungan antara karakteristik tanaman dan karakteristik spektral tajuk (Li *et al.*, 2015). Hal ini menjadi mungkin untuk mengukur status hara, hasil, dan parameter lain secara non-destruktif dengan menggunakan hiperspektroradiometer, GPS dan sensor darat lainnya.

Teknik penginderaan jauh memanfaatkan karakteristik spektral daun jagung untuk menentukan status N jagung merupakan teknologi yang berharga untuk mengoptimalkan pengambilan keputusan dan pengelolaan tanaman berdasarkan skala spasial dan temporal. Penelitian sebelumnya yang mengeksplorasi spektral atau hiperspektral terhadap status hara dan hasil jagung masih terbatas terutama di Indonesia. Zhao *et al.* (2003) menilai sifat-sifat reflektansi hiperspektral jagung dan keterkaitannya dengan tingkat N tanaman. Min dan Lee (2005) memprediksi kadar N jeruk menggunakan reflektansi spektral di 400-2,500 nm. Albayrak (2008) mendeteksi kadar nitrogen di Sainfoin Pasture menggunakan spektroradiometer portabel yang mencakup panjang gelombang 325-1,150 nm. Hasil prediksi ( $R^2$ ) N adalah antara 0.85 dan 0.87 untuk regresi bertahap. Zhao *et al.* (2018) menganalisis reflektansi spektral kanopi dari cahaya tampak dan inframerah dekat (NIR) untuk varietas jagung yang berbeda. Vigneau *et al.* (2011) memperkirakan kadar N gandum berdasarkan informasi reflektansi dalam kisaran spektral 400-1,000 nm. Xie *et al.* (2018) melakukan analisis respon reflektansi spektral pada kadar N yang berbeda pada jagung. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa panjang gelombang pada cahaya tampak dan NIR (350-1,000 nm) mendeteksi kadar N lebih baik daripada kedua daerah spektrum (1,001-1,350/1,425-1,800 nm dan 2,000-2,400 nm). Selain hal tersebut, panjang gelombang sekitar 555 nm dan 730 nm diidentifikasi sebagai yang paling penting untuk memprediksi kadar N.

Penelitian ini merupakan bagian dari uji pupuk hayati cair. Data reflektansi spektral jagung pada 4 minggu setelah tanam (MST) dan 8 MST digunakan untuk mengevaluasi respon jagung terhadap dosis N yang berbeda. Tujuan dari penelitian adalah untuk: (1) mengidentifikasi respon spektral daun jagung pada berbagai tingkat N yang diterapkan, (2) menemukan hubungan antara data reflektansi spektral daun jagung dan tingkat N yang berbeda; dan (3) menemukan hubungan antara panjang gelombang yang digunakan dan tingkat N.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan selama 5 bulan, yakni Maret sampai Juni 2021 di kebun percobaan Cikabayan IPB, Dramaga, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat (Gambar 1). Lokasi penelitian terletak pada ketinggian 192 m dpl dengan curah hujan tahunan rata-rata adalah 3,930 mm dan curah hujan bulanan rata-rata tertinggi adalah 414 mm pada bulan April, dan terendah 180 mm pada bulan Agustus. Interpretasi dan analisis data dilakukan di studio Divisi Penginderaan Jauh dan Informasi Spasial, sedangkan analisis kadar N daun di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.



Gambar 1. Lokasi penelitian di kebun percobaan Dramaga

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah spektroradiometer EKO MS-720 (Gambar 2) dan aplikasi pendukung seperti MiniTab dan ArcGIS v10.3, dan *Agisoft PhotoScan Profesional*. Analisis kadar-N dilakukan dengan menggunakan serangkaian alat destruksi dan destilasi di laboratorium. Bahan untuk analisis N antara lain asam pekat ( $H_2SO_4$ ), campuran Se, indikator *Conway*, NaOH 50%,  $H_3BO_4$  4%, dan HCl yang telah dibakukan.

### Desain Percobaan

Jagung ditanam pada tanggal 2 April 2021 di petak percobaan yang terletak di Kebun Percobaan Cikabayan. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan acak kelompok dengan 3 ulangan. Petak utama berukuran  $25 \times 36 \text{ m}^2$  yang terdiri 30 petak ( $10 \times 3$  ulangan) petak perlakuan berukuran  $7.5 \times 3.3 \text{ m}^2$  dengan 11 baris jagung per petak. Data dikumpulkan dalam 1 sub-petak seluas  $1 \times 1 \text{ m}^2$  yang terdiri 5 – 6 pohon jagung pada setiap petak perlakuan. Dosis pupuk standar (STD) untuk jagung adalah 300 kg urea per ha, 200 kg SP36 per ha dan 150 kg KCl per ha. Perlakuan terdiri dari pupuk hayati Ultra Gen (UG) dengan dosis:  $8 \text{ l ha}^{-1}$  (1 UG),  $16 \text{ l ha}^{-1}$  (2 UG) dan  $24 \text{ l ha}^{-1}$  (3UG) yang diberikan murni atau dikombinasikan dengan

1/3 STD, 2/3 STD, ditambah dengan 1 STD (tanpa pupuk hayati) sehingga diperoleh 9 kombinasi perlakuan dan ditambah 1 kontrol (tanpa pupuk) (Tabel 1). Perlakuan pemupukan diterapkan dalam 3 kali pemberian mulai 2 April, 30 April dan 21 Mei 2021.



Gambar 2. Spektroradiometer lapang EKO-MS720

Tabel 1. Kombinasi perlakuan

Perlakuan	Keterangan
Kontrol	Tanpa pupuk
1 UG	8 lt Ultra Gel per ha
1 UG + 1/3 STD	8 lt Ultra Gel per ha + 1/3 (300 kg urea, 200 kg SP36 dan 150 kg KCl per ha)
1 UG + 2/3 STD	8 lt Ultra Gel per ha + 2/3 (300 kg urea, 200 kg SP36 dan 150 kg KCl per ha)
2 UG	2 x 8 lt Ultra Gel per ha
2 UG + 1/3 STD	2 x 8 lt Ultra Gel per ha + 1/3 (300 kg urea, 200 kg SP36 dan 150 kg KCl per ha)
2 UG + 2/3 STD	2 x 8 lt Ultra Gel per ha + 2/3 (300 kg urea, 200 kg SP36 dan 150 kg KCl per ha)
3 UG	3 x 8 lt Ultra Gel per ha
3 UG + 1/3 STD	3 x 8 lt Ultra Gel per ha + 1/3 (300 kg urea, 200 kg SP36 dan 150 kg KCl per ha)
3 UG + 2/3 STD	3 x 8 lt Ultra Gel per ha + 2/3 (300 kg urea, 200 kg SP36 dan 150 kg KCl per ha)
1 STD	300 kg urea, 200 kg SP36 dan 150 kg KCl per ha

### Pengumpulan Data

Data reflektansi spektral dikumpulkan pada umur jagung 2 MST – 8 MST (16/4, 23/4, 30/4, 7/5, 14/5, 21/5 dan 28/5 2021). Akuisisi data terjadi pada hari tanpa awan antara waktu 09.00 jam dan 13.00 jam menggunakan spektroradiometer EKO MS-720. Instrumen dipanaskan selama 10 menit untuk memungkinkan detektor internal mencapai suhu yang setara. Pengukuran dilakukan dengan 2 bidang pandang berbeda yang diarahkan berlawanan satu sama lain pada jarak 1 meter di atas bagian tengah tajuk jagung. Sensor serat optik spektroradiometer dengan bidang pandang 180° diarahkan ke zenit (atas) untuk merekam iradian spektral matahari, kemudian dengan bidang pandang 45° diarahkan ke posisi nadir di atas tajuk jagung untuk merekam radian tajuk jagung. Pengukuran spektrum dilakukan sebanyak 6 kali untuk setiap sub-petak. Setelah pengumpulan spektrum, semua data radian spektral dibagi dengan iradian spektral radiasi matahari untuk mendapat nilai reflektansi tajuk jagung dengan persamaan (EKO, 2016) sebagai berikut:

$$\rho = \pi I_d / (I_u \Omega)$$

$$\Omega = 2\pi (1 - \cos(45^\circ/2)) = 0.478 \text{ sr}$$

dimana:

- $\rho$  = Reflektansi tajuk jagung
- $I_d$  = Radian pantulan tajuk jagung (W/m<sup>2</sup>/μ)
- $I_u$  = Iradian yang diterima tajuk jagung (W/m<sup>2</sup>/μ)
- $\Omega$  = solid view angle yang dibentuk sudut pengukuran 45° (sr)

### Analisis N Daun Jagung

Contoh tanaman diambil secara berbeda pada jagung umur 4 dan 8 MST. Contoh jaringan jagung umur 4 MST meliputi seluruh bagian jagung yang ada di atas tanah, dan diambil 4 batang setiap petak percobaan. Contoh jaringan jagung umur 8 MST masing-masing diambil 6 daun bendera (daun penyangga tongkol) per petak pengamatan. Selanjutnya contoh daun dimasukkan dalam kantong kertas dan di oven pada suhu 70 °C selama 48 jam dan digiling halus. Sebanyak 0.2 g contoh tanaman kering dan halus (lolos saringan 40 mesh) dimasukkan ke labu destruksi, ditambahkan 1 g sampuran Se dan 5 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat dan didestruksi pada ruang asam dengan suhu 320-400 °C selama ± 2 jam atau sampai berubah menjadi larutan bening (kuning kehijauan). Selanjutnya ditambahkan 25 ml aquades ke hasil destruksi dan dipindahkan secara kuantitatif ke labu Kjeldahl. Selanjutnya ke dalam labu Kjeldahl tambahkan 20 ml NaOH 50% dan 100 ml aquades dan didestilasi. Destilat ditampung dalam Erlenmeyer 250 ml yang berisi 25 ml H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub> 4% dan 5 tetes indikator Conway hingga volume destilat 75-100 ml. Titrasi dilakukan pada destilat dengan larutan 0.1 N HCl yang sudah distandarisasi hingga berubah warna dari hijau muda menjadi merah muda.

### Model dan Evaluasi Hubungan Kadar N dengan Reflektansi Spektral

Dalam penelitian ini, uji Tukey pada taraf 5% digunakan untuk membandingkan pengaruh perlakuan terhadap kadar N daun dan reflektansi jagung, dengan menggunakan paket MiniTab. Model regresi linear dan regresi linier berganda juga dibuat untuk melihat hubungan kadar N jagung dengan reflektansi spektral jagung akibat perlakuan pemupukan. Model hubungan regresi yang diperoleh dievaluasi berdasarkan koefisien determinasinya (R<sup>2</sup>) berdasarkan Sugiyono (2012) seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Interpretasi nilai koefisien determinasi

Nilai	Interpretasi
0.00 – 0.199	Sangat rendah
0.20 – 0.399	Rendah
0.40 – 0.599	Sedang
0.60 – 0.799	Kuat
0.80 – 1.000	Sangat Kuat

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Spektral

Kurva reflektansi spektral rata-rata yang mencakup seluruh panjang gelombang pada semua perlakuan pemupukan ditunjukkan pada Gambar 3.

Reflektansi spektral rata-rata ini dihitung dari pengukuran 6 tanaman pada sub-petak hanya untuk umur 4 dan 8 MST karena pengukuran kadar N tanaman dilakukan pada kedua umur tersebut, sehingga analisis dalam artikel ini berfokus pada umur 4 dan 8 MST. Secara umum, reflektansi spektral tajuk jagung pada umur 4 MST lebih rendah dibandingkan umur 8 MST. Perbedaan luas daun/tajuk diduga penyebab reflektansi spektral umur 4 MST lebih rendah dari 8 MST (Chang *et al.*, 2005). Reflektansi rendah pada spektrum biru dan merah karena klorofil menyerap spektrum panjang gelombang biru dan merah untuk proses fotosintesis. Sebaliknya reflektansi tinggi pada spektrum hijau karena tanaman memantulkan panjang gelombang hijau yang memberikan kesan warna hijau pada tajuk jagung. Menurut Min *et al.* (2006) panjang gelombang hijau khususnya pada 555 nm merupakan panjang gelombang yang berkorelasi tinggi dengan kadar N di dalam jaringan tanaman. Ini ditunjukkan oleh nilai reflektansi spektral pada kanal 555 nm umumnya meningkat seiring waktu. Nilai reflektansi spektral terendah pada kanal 555 nm terjadi pada perlakuan 1 STD pada 4 MST yaitu 0.02072, menunjukkan bahwa kadar N jaringan tanaman paling tinggi pada umur tersebut. Sebaliknya pada umur 8 MST reflektansi spektral perlakuan 1 STD lebih tinggi dari umur 4 MST yaitu 0.02499, yang menunjukkan kadar N daun yang lebih rendah pada umur 8 MST dibandingkan 4 MST. Pada umur 4 MST reflektansi spektral tertinggi ditemukan pada perlakuan kontrol, yang menunjukkan kadar N daun paling rendah.

Reflektansi spektral yang rendah pada panjang gelombang 350-700 nm disebabkan oleh penyerapan yang kuat oleh pigmen fotoaktif, seperti klorofil, antosianin dan karotenoid. Reflektansi tinggi dari 700 nm hingga 1,052 nm disebabkan oleh beberapa hamburan sel daun. Pada 945-975 nm reflektansi spektral menurun lagi karena serapan oleh air dan protein (Huang *et al.*, 2007).

### Pengaruh Perlakuan Pemupukan terhadap Kadar N Daun

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan pemupukan berpengaruh nyata pada kadar N daun jagung pada umur 8 MST, namun berpengaruh tidak nyata pada umur 4 MST. Tampaknya dosis pupuk N semua perlakuan sampai pada umur 4 MST mencukupi, namun demikian pada saat memasuki fase generatif pada umur 8 MST tidak semua perlakuan mampu memasok N dalam jumlah cukup, sehingga kadar N antar perlakuan yang dicobakan berbeda. Tabel 3 menyajikan hasil uji Tukey pengaruh perlakuan pemupukan terhadap kadar N daun jagung.

Tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan 2 UG + 2/3 STD memiliki kadar N tertinggi namun hanya berbeda nyata dengan perlakuan 3 UG. Perlakuan 2 UG + 2/3 STD memiliki nilai kadar N yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan 3 UG + 1/3 STD dan perlakuan 1 STD. Kadar N daun jagung pada perlakuan pemupukan kombinasi antara UG dengan STD tidak berbeda nyata satu dengan lainnya. Tabel 3 juga menunjukkan bahwa pada perlakuan pemupukan tunggal, perlakuan 1 STD memiliki nilai kadar N daun lebih tinggi dibandingkan perlakuan 3 UG.

Kadar N daun jagung umur 8 MST lebih rendah dibandingkan kadar N tanaman umur 4 MST dapat dikaitkan dengan perubahan fase pertumbuhan jagung. Pada umur 8 MST jagung memasuki fase generatif yang ditandai

dengan munculnya bunga jantan (tassel) dan tongkol, dan mulai terjadi pemindahan fotosintat ke dalam biji (dalam tongkol jagung) (Lihiang dan Lumingkewas, 2020), terutama pada daun penyangga tongkol. Tanaman jagung menyerap hara yang dibutuhkan untuk tumbuh dan berkembang dalam jumlah yang lebih banyak pada fase ini (McWilliam *et al.*, 1999).

Tabel 3. Hasil uji tukey pengaruh perlakuan pemupukan terhadap kadar N daun jagung

Perlakuan	Umur (MST)	
	4	8*
KONTROL	2.59 a	2.12 ab
1 STD	2.53 a	2.30 a
1 UG	2.67 a	1.90 ab
2 UG	2.61 a	2.02 ab
3 UG	2.55 a	1.72 b
1 UG + 1/3 STD	2.15 a	2.20 ab
1 UG + 2/3 STD	2.52 a	2.27 ab
2 UG + 1/3 STD	2.38 a	2.16 ab
2 UG + 2/3 STD	2.58 a	2.33 a
3 UG + 1/3 STD	2.48 a	2.32 a

\*Angka yang diikuti huruf berbeda menurut kolom, berbeda nyata dengan uji Tukey pada selang kepercayaan 95%

### Model Hubungan Kadar N Daun dan Spektral

Spektroradiometer memiliki selang panjang gelombang 349 – 1,052 nm dan setiap wilayah spektral digunakan untuk membangun model regresi, yaitu 450 – 490 nm (biru), 490 – 580 nm (hijau), 580 – 680 nm (merah), 680 – 750 nm (*red-edge*) dan 750 – 1,052 nm (NIR). Model regresi hubungan kadar-N daun dengan reflektansi spektral tajuk jagung untuk masing-masing wilayah spektral disajikan pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa panjang gelombang merah, hijau dan *red-edge* menunjukkan hubungan yang sedang dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) lebih besar dari 0.4 (Sugiyono, 2012) dibandingkan dengan panjang gelombang biru dan NIR. Hal ini karena reflektansi pada panjang gelombang merah, hijau dan *red-edge* terkait dengan klorofil, yang menunjukkan bahwa panjang gelombang pada rentang spektrum tersebut sensitif terhadap perubahan kadar N (Min *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2007).

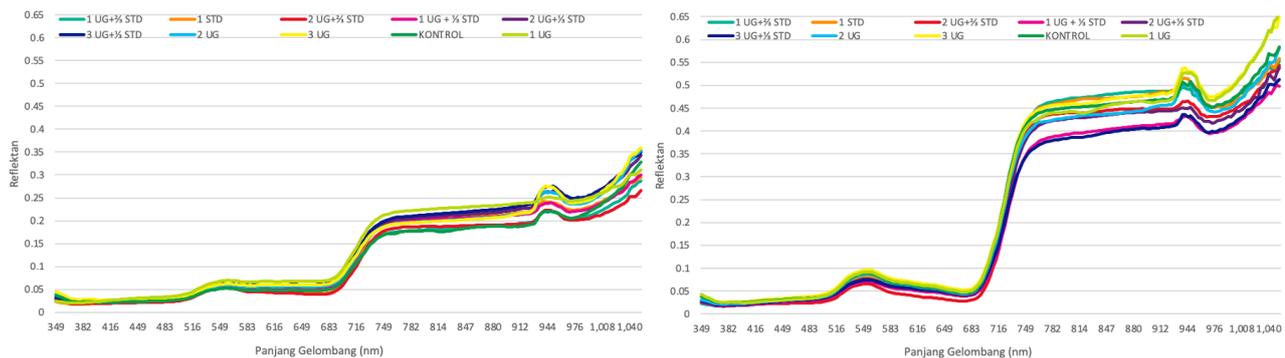
Tabel 4 juga menunjukkan bahwa pada 8 MST panjang gelombang hijau dan merah mempunyai hubungan sangat kuat dengan kadar N daun dengan nilai  $R^2$  lebih besar dari 0.9, disusul panjang gelombang biru dan *red-edge* dengan hubungan sedang (0.41) dan kuat (0.66) terhadap kadar N dibandingkan dengan panjang NIR. Hal ini menunjukkan bahwa pada 8 MST hubungan sangat kuat reflektansi dengan kadar-N daun pada panjang gelombang merah hingga *red-edge*. Blackmer *et al.* (1996) menemukan bahwa reflektansi panjang gelombang 550-710 nm dapat digunakan untuk mendeteksi kekurangan N pada jagung. Sementara, nilai  $R^2$  pada panjang gelombang NIR paling rendah pada penelitian ini baik pada umur 4 MST ataupun 8 MST.

Pada penelitian ini juga dibangun model regresi berganda antara kadar N dengan reflektansi spektral tajuk jagung pada spektrum biru, hijau, merah, *red-edge*, dan NIR seperti disajikan pada Tabel 5. Tabel 5 memperlihatkan nilai  $R^2$  jagung umur 4 dan 8 MST masing-masing sebesar 0.88 dan 0.83 (sangat kuat). Hasil pemodelan regresi berganda mempunyai nilai  $R^2$  yang lebih baik dibandingkan pemodelan regresi linear sederhana. Nilai  $R^2$  pada

permodelan regresi berganda merupakan penjumlahan dari nilai R<sup>2</sup> masing-masing peubah dalam regresi berganda tersebut.

Tabel 6 memperlihatkan hubungan kadar N pada panjang gelombang tertentu pada rentang 500-1,000 nm yang dimodelkan dengan regresi linear untuk mengetahui panjang gelombang yang responsif terhadap perubahan kadar N. Panjang gelombang yang digunakan bersesuaian dengan spektrum gelombang elektromagnetik pada penelitian Bajwa *et al.* (2010). Hasil pemodelan pada umur 4 MST memperlihatkan nilai R<sup>2</sup> yang sangat rendah (< 0.02) pada setiap panjang gelombang yang digunakan, Pada umur 8 MST nilai R<sup>2</sup> lebih tinggi dibandingkan umur 4 MST dan bervariasi dari 0.08 (sangat rendah) sampai 0.72 (tinggi). Panjang gelombang 671 nm mempunyai hubungan yang

kuat dengan kadar N dengan R<sup>2</sup> 0.72. Stone *et al.* (1996) mengungkapkan bahwa kadar N tanaman dapat digunakan menggunakan pengukuran radian spektral merah pada panjang gelombang 671 nm. Panjang gelombang 517 nm, 560 nm, 622 nm, 718 nm, dan 757 nm mempunyai nilai R<sup>2</sup> berkisar 0.5 – 0.68 (sedang - kuat). Dengan demikian panjang gelombang tersebut sensitif terhadap perubahan kadar N dan bisa dipertimbangkan untuk digunakan memperkirakan kadar N tanaman melalui pengukuran spektral. Thomas dan Gausman, (1977) panjang gelombang 560 nm banyak dipantulkan oleh klorofil pada vegetasi hijau dan sensitif terhadap konsentrasi N (Min *et al.* 2006). Yoder dan Pettigrew-Crosby (1995) mengemukakan bahwa konsentrasi N dalam daun berkaitan erat dengan konsentrasi klorofil.



Gambar 3. Rata-rata reflektansi jagung umur 4 MST (kiri) dan 8 MST (kanan) pada semua perlakuan pemupukan

Tabel 4. Regresi linear kadar-N daun (dalam %) dengan reflektansi spektral tajuk jagung pada umur 4 dan 8 MST

Gelombang Cahaya	4 MST		8 MST	
	Persamaan	R <sup>2</sup>	Persamaan	R <sup>2</sup>
Biru (450-490 nm)	Y = 2.303 + 9.94 X	0.30	Y = 4.13 – 63.60 X	0.41
Hijau (490-580 nm)	Y = 2.247 + 6.78 X	0.43	Y = 5.40 – 49.43 X	0.90
Merah (580-680 nm)	Y = 2.339 + 4.27 X	0.43	Y = 4.85 – 48.92 X	0.91
Red-Edge (680-750 nm)	Y = 2.193 + 3.10 X	0.42	Y = 5.71 – 17.98 X	0.66
NIR (750-1050 nm)	Y = 2.240 + 1.47 X	0.11	Y = 5.87 – 8.08 X	0.25

Keterangan: Y = Kadar N-Daun (%), X = reflektansi

Tabel 5. Regresi berganda kadar-N daun (dalam %) dengan nilai reflektansi spektral tajuk jagung pada umur 4 dan 8 MST

Umur	Persamaan	R <sup>2</sup>
4 MST	Y = 2.943 – 144.8X <sub>1</sub> + 689X <sub>2</sub> – 226X <sub>3</sub> – 80.4X <sub>4</sub> + 4.58X <sub>5</sub>	0.88
8 MST	Y = 2.583 – 8.6X <sub>1</sub> + 65X <sub>2</sub> – 105X <sub>3</sub> + 45.6X <sub>4</sub> + 4.86X <sub>5</sub>	0.83

Keterangan: Y = Kadar N-Daun (%), X<sub>1</sub> = reflektansi gelombang biru, X<sub>2</sub> = reflektansi gelombang hijau, X<sub>3</sub> = reflektansi gelombang merah, X<sub>4</sub>= reflektansi gelombang red-edge, X<sub>5</sub> = reflektansi gelombang NIR

Tabel 6. Regresi linear kadar-N daun (dalam %) dengan nilai reflektansi spektral tajuk jagung pada panjang gelombang tertentu pada umur 4 dan 8 MST

Panjang Gelombang (nm)	4 MST		8 MST	
	Persamaan	R <sup>2</sup>	Persamaan	R <sup>2</sup>
517	Y = 2.322 + 7.5X	0.02	Y = 3.464 - 18.16X	0.60
560	Y = 2.329 + 6.4X	0.02	Y = 3.407 - 42.6X	0.50
622	Y = 2.313 + 4.2X	0.02	Y = 3.481 - 23.21X	0.69
671	Y = 2.431 + 1.13X	0.002	Y = 3.477 - 55.8X	0.72
718	Y = 2.525 - 0.54X	0.001	Y = 3.207 - 19.63X	0.63
757	Y = 2.506 - 0.19X	0.001	Y = 3.120 - 21.75X	0.56
937	Y = 2.609 - 0.56X	0.003	Y = 3.00 - 1.96X	0.08
967	Y = 2.582 - 0.42X	0.002	Y = 3.20 - 2.37X	0.11
994	Y = 2.627 - 0.62X	0.005	Y = 3.18 - 2.32X	0.10

Keterangan: Y = Kadar N-daun (%), X = reflektansi

## SIMPULAN

Pola kurva respon spektral tajuk jagung untuk 10 perlakuan pemupukan menunjukkan reflektansi 4 MST lebih rendah dari 8 MST untuk seluruh panjang gelombang. Dari kurva ini kadar N daun dapat diperkirakan dari panjang gelombang hijau 555 nm, yang menunjukkan reflektansi paling rendah pada 4 MST dan reflektansi tinggi pada 8 MST untuk perlakuan 1 STD (dosis N tertinggi). Reflektansi rendah pada panjang gelombang dan perlakuan 1 STD menunjukkan bahwa kadar N pada jaringan daun lebih tinggi pada umur 4 MST dari pada umur 8 MST.

Panjang gelombang merah, hijau dan red-edge pada umur 4 dan 8 MST menunjukkan korelasi sedang sampai sangat kuat dengan kadar N daun dengan  $R^2 > 0.4$ . Pada rentang panjang gelombang 450 – 750 nm diidentifikasi bahwa panjang gelombang hijau dan merah menunjukkan korelasi sangat kuat dengan kadar-N daun pada umur 8 MST. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) kuat ditunjukkan oleh model regresi berganda antara spektrum biru, hijau, merah, red-edge, dan NIR terhadap kadar N tanaman baik untuk 4 MST (0.88) maupun 8 MST (0.83). Kombinasi spektrum biru, hijau, merah, *red-edge*, dan infra merah dapat digunakan untuk deteksi dini kadar N jagung pada 4 MST.

Hasil model hubungan panjang gelombang terpilih dengan kadar N jagung menunjukkan bahwa korelasi sangat kuat diperoleh pada panjang gelombang 671 nm. Panjang gelombang 517 nm, 560 nm, 622 nm, 671 nm, 718 nm, dan 757 nm sensitif terhadap perubahan kadar N pada jagung umur 8 MST.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University, khususnya Divisi Penginderaan Jauh dan Informasi Spasial serta Divisi Kimia dan Kesuburan Tanah, yang telah memfasilitasi penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Albayrak, S. 2008. Use of reflectance measurements for the detection of N, P, K, ADF and NDF contents in sainfoin pasture. *Sensors*, 8(11): 7275–7286.
- Bajwa, S.G., A.R. Mishra and R.J. Norman. 2010. Canopy Reflectance Response to Plant Nitrogen Accumulation in Rice. *Precision Agric.*, 11: 488-506.
- Blackmer, T.M., J.S. Schepers, E.A.W. Shea and G.E. Varvel. 1996. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. *Journal Agron.*, 88: 1-5.
- Chang, K.W., J.C. Lo and Y. Shen. 2005. Predicting rice yield using canopy reflectance measured at booting stage. *Agronomy Journal*, 97: 872-878.
- [EKO] EKO Instruments. 2016. *Instruction Manual: Portable Spectroradiometer*. EKO Instruments CO., Ltd. Tokyo, Japan.

- Huang, W.J., D.W. Lamb, Z. Niu, Y.J. Zhang, L.Y. Liu and J.H. Wang. 2007. Identification of yellow rust in wheat using in-situ spectral reflectance measurements and airborne hyperspectral imaging. *Precision Agriculture*, 8(4-5): 187–197.
- [KEMENTAN] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2021. Inilah 10 Provinsi Produsen Jagung Terbesar Indonesia. <https://www.pertanian.go.id/home/?show=news&act=view&id=4639#:~:text=Berdasarkan%20laporan%20prognosa%20penghitungan%20Pusat,mencaipai%205%2C16%20juta%20ha>.
- Leghari, S.J., N.A. Wahocho, G.M. Laghari, L.A. Hafeez, B.G. Mustafa, T.K. Hussain and A.A. Lashari. 2016. Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9): 209-218.
- Li, F., Y. Miao, G. Feng, F. Yuan, S. Yue, X. Gao, Y. Liu, B. Liu, S.L. Ustin, and X. Chen. 2014. Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Res.*, 157: 111–123.
- Lihiang, A. dan S. Lumingkewas. 2020. Efisiensi Waktu Pemberian Pemupukan Nitrogen Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Jagung Lokal Kuning. *Jurnal Sainsmat*, 9(2): 144-158. ISSN: 2579-5686.
- McWilliam, D.A., D.R. Berglund and G.J. Endres. 1999. *Corn Growth and Management Quick Guide*. North Dakota State University. North Dakota, USA.
- Min, M. and W.S. Lee. 2005. Determination of significant wavelengths and prediction of nitrogen content for citrus. *Transactions of the ASAE*, 48(2): 455–461.
- Purwanto, S. 2008. *Perkembangan Produksi dan Kebijakan dalam Peningkatan Produksi Jagung*. Direktorat Budi Daya Serealia. Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. Bogor, Indonesia.
- Stone, M.L., J.B. Solie, W.R. Raun, R.W. Whitney, S.L. Taylor and J.D. Ringer. 1996. Using of spectral radiance for correcting inseason fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. *Trans. ASAE*, 39: 1623-1631.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung.
- Thomas, J.R. and H.W. Gausman. 1977. Reflektansi daun vs. daun konsentrasi klorofil dan karotenoid untuk delapan tanaman. *Agro. J.*, 69: 799–802.
- Vigneau, N., M. Ecartot, G. Rabatel and P. Roumet. 2011. Potential of field hyperspectral imaging as a nondestructive method to assess leaf nitrogen content in wheat. *Field Crops Research*, 122(1): 25–31.
- Widowati, L.R., D. Nursyamsi, S. Rochayati dan M. Sarwani. 2011. Nitrogen Management on Agricultural Land in Indonesia. Proc. of Int. Seminar on Increased Agricultural Nitrogen Circulation in Asia: Technological Challenge to

- Mitigate Agricultural N Emissions. Taipei, Taiwan, Sep. 27- 28, 2011.
- Xie, C., C. Yang, A. Hummel, G.A. Johnson and F.T. Izuno. 2018. Spectral reflectance response to nitrogen fertilization in field grown corn. *Int. J. Agric. & Biol. Eng.*, 11(4): 118-126.
- Yoder, B.J. and C.R.E. Pettigrew. 1995. Memprediksi nitrogen dan kandungan dan konsentrasi klorofil dari spektrum reflektansi (400–2,500nm) pada sisik daun dan kanopi. *Penginderaan Jauh Mengempung*, 53: 199–211.
- Yu, K.Q., Y.R. Zhao, X.L. Li, Y.N. Shao, F. Liu and Y. He. 2014. Hyperspectral imaging for mapping of total nitrogen spatial distribution in pepper plant. *Plos One*, 9(12): 1-19.
- Zhao, B., A. Duan, S.T. Ata-Ul-Karim, Z. Liu, Z. Chen, Z. Gong, J. Zhang, J. Xiao, Z. Liu and A. Qin. 2018. Exploring new spectral bands and vegetation indices for estimating nitrogen nutrition index of summer maize. *Eur. J. Agron.*, 93: 113–125.
- Zhao, D., K.R. Reddy, V.G. Kakani, J.J. Read and G.A. Carter. 2003. Corn (*Zea mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil*, 257: 205–217.
-