

TREN SPEKTRAL KUBIS (*BRASSICA OLERACEA* L.) PADA BEBERAPA TINGKAT PEMUPUKAN YANG BERBEDA

*The Spectral Trends of Cabbage (*Brassica Oleracea* L.) at Different Fertilization Levels*

Muhammad Ardiansyah^{1,2)*}, Khursatul Munibah¹⁾, Salma Sabila³⁾, Baba Barus¹⁾, dan Wahyu Iskandar¹⁾

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

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

³⁾ 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

Cabbage is one of the important horticultural commodities that are widely preferred as fresh vegetables or other processed foods because it has a mild sweet taste. To meet the nutritional needs of cabbage during the growth process, fertilizer application is a common practice in the community. Identifying, characterizing, and monitoring mixed vegetable crops in fields using traditional methods is a challenge. Observations with multispectral, hyperspectral or proximal sensing optical satellite data such as spectroradiometers have been widely used for identification, characterization and monitoring of plants in agricultural land. However, research on identification, discrimination and quantitative mapping of cabbage spectral profiles in Indonesia using spectroradiometers is still limited. This study aims to identify the spectral response profile of cabbage planted in narrow land using the spectroradiometer and to analyze the spectral response of cabbage to different fertilization level treatments. The results showed that the spectral trend of cabbage at all growth phases had a trend similar to the spectral changes of green vegetation. Cabbage reflectance is low at visible light wavelengths and high at red edge and near infrared wavelengths. Fertilization treatment significantly affected the cabbage spectral at the 5% level. At the same growth phase, the higher dose of fertilizer, the higher the reflectance of visible light (blue, green and red), red edge and near infrared. Variation of stable reflectance values increased in visible light waves, red edge and near infrared is interpreted to indicate good growth status of cabbage. At the growth phase stage, with increasing age of plants regardless of fertilization level, the reflectance of cabbage in blue and red waves decreased slightly, on the contrary the reflectance of cabbage in red edge and near infrared increased until it reached its peak at 45 days after planting and decreased after 63 days after planting. This indicates that changes in reflectance resulting from spectroradiometer measurements can be used to estimate plant nutrient status and plant growth.

Keywords: near infrared, red edge, spectroradiometer, visible light

ABSTRAK

Kubis merupakan salah satu komoditas hortikultura penting yang banyak disukai sebagai lalapan atau olahan lainnya karena memiliki rasa manis yang ringan. Untuk memenuhi kebutuhan nutrisi kubis selama proses pertumbuhan pemberian pupuk merupakan praktek umum di masyarakat. Mengidentifikasi, mengkarakterisasi, dan memantau tanaman sayuran campuran di lahan menggunakan metode tradisional merupakan suatu tantangan. Pengamatan dengan data satelit optik multispektral, hiperspektral atau *proximal sensing* seperti spektrometri telah banyak digunakan untuk identifikasi, karakterisasi dan memantau tanaman di lahan pertanian. Akan tetapi, penelitian identifikasi, diskriminasi dan pemetaan kuantitatif profil spektral kubis di Indonesia menggunakan spektrometri masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi profil respon spektral dari kubis yang ditanam di lahan sempit menggunakan spektrometri dan untuk menganalisis respon spektral kubis terhadap perlakuan tingkat pemupukan yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan tren spektral kubis pada semua fase pertumbuhan memiliki tren yang mirip dengan perubahan spektral dari vegetasi hijau. Reflektansi kubis rendah pada panjang gelombang cahaya tampak dan tinggi pada panjang gelombang tepi merah dan inframerah dekat. Perlakuan pemupukan berpengaruh nyata terhadap spektral kubis pada taraf 5%. Pada fase tumbuh yang sama dengan semakin tinggi dosis pemupukan, semakin tinggi reflektansi gelombang cahaya tampak (biru, hijau dan merah), tepi merah dan inframerah dekat. Variasi nilai reflektansi yang stabil meningkat pada gelombang cahaya tampak, tepi merah dan inframerah dekat ini diinterpretasi menunjukkan status pertumbuhan kubis yang baik. Pada tahapan fase tumbuh, dengan bertambahnya umur tanaman terlepas dari tingkat pemupukan, reflektansi kubis pada gelombang biru dan merah sedikit menurun, sebaliknya reflektansi kubis pada tepi merah dan inframerah dekat semakin meningkat hingga mencapai puncaknya pada 45 hari setelah tanam dan menurun setelah 63 hari setelah tanam. Hal mengindikasikan bahwa perubahan reflektansi hasil pengukuran spektrometri dapat digunakan untuk menduga status hara tanaman dan pertumbuhan tanaman.

Kata Kunci: cahaya tampak, inframerah dekat, spektrometri, tepi merah

*) Penulis Korespondensi: Telp. +62811112973; Email. ardyasaja@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.29244/jitl.26.2.77-84>

PENDAHULUAN

Kubis (*Brassica oleracea* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura penting dalam pertanian Indonesia. Kubis banyak disukai sebagai lalapan atau olahan lainnya karena memiliki rasa manis yang ringan. Rata-rata konsumsi kubis di Indonesia pada tahun 2020 sekitar 0,0264 kg kap⁻¹ minggu⁻¹ atau mencapai 1.378 kg kap⁻¹ minggu⁻¹ (Pusdatin, 2020). Pada tahun 2022 produksi kubis mencapai 1.503.798 ton atau 9,85% dari total produksi sayuran di Indonesia, sedangkan produksi kubis untuk pulau Jawa mencapai 671.390 ton atau 44,85% dari total produksi kubis nasional. Apabila dilihat per provinsi di pulau Jawa, maka Jawa Barat merupakan penghasil kubis terbesar yaitu sebesar 236.368 ton atau 15,72%, diikuti oleh Jawa Tengah sebesar 224.545 ton atau 14,93%. Sementara, provinsi penghasil kubis terbesar di luar pulau Jawa adalah Sumatera Utara dengan produksi sebesar 236.611 ton atau 15,73% diikuti oleh Sumatera Barat sebesar 163.982 ton atau 10,90% (Kementan, 2024). Kubis umumnya ditanam di daerah dataran tinggi perbukitan pada lahan yang sempit seperti di Cisarua, sebagai sentra produksi kubis di Kabupaten Bogor.

Ketersediaan informasi karakteristik pertumbuhan hortikultura yang tepat waktu merupakan hal yang sangat penting bagi petani untuk pemantauan dan pengelolaan tanaman sayuran. Pengidentifikasi, pengkarakterisasian, dan pemantauan tanaman sayuran campuran di lahan perbukitan dan sempit menggunakan metode tradisional merupakan suatu tantangan. Pemanfaatan penginderaan jarak telah digunakan dalam berbagai aspek pertanian termasuk identifikasi tanaman hortikultura, memantau pertumbuhan tanaman, dan memperkirakan luas tanaman, dan memperkirakan hasil dan produktivitas. Sensor multispektral merupakan jenis sensor yang biasa digunakan dalam penginderaan jauh. Pencitraan multispektral mencakup informasi spektral pada panjang gelombang yang lebar dengan jumlah kanal spektral sedikit. Namun, sensor multispektral memiliki keunggulan karena lebih ringan dan terjangkau. Salah satu aplikasi pertama yang berhasil menggunakan sensor multispektral berbobot rendah dan berbiaya rendah pada drone dilaporkan oleh Nebiker *et al.* (2008) dalam penelitian agronomi. Analisis informasi spektral yang lebih detail dapat dilakukan dengan menggunakan sensor hiperspektral, dengan semakin sempit interval panjang gelombang dan banyak kanal spektral yang diamati, memungkinkan studi vegetasi tingkat lanjut (Honkavaara *et al.*, 2012).

Sensor hiperspektral mencakup rentang spektral yang luas, biasanya dari 350 hingga 2.500 nm, dan menawarkan potensi resolusi spektral hingga 1 nm (Steiner *et al.*, 2007). Pencitraan hiperspektral melibatkan pembacaan daun atau kanopi tanaman tanpa menyebabkan kerusakan pada jaringan tanaman. Dengan memanfaatkan data hiperspektral, penerapan statistik dapat dilakukan untuk mengidentifikasi informasi spesifik dalam kurva spektral yang relevan untuk mendeteksi kebutuhan hara tanaman. Lebih jauh menurut Amiruddin *et al.* (2022) pada skala daun, sensor hiperspektral seperti spektrometri

telah banyak digunakan untuk memperkirakan kandungan unsur hara dalam berbagai tanaman.

Penelitian identifikasi, diskriminasi, dan pemetaan kuantitatif profil spektral tanaman hortikultura di Indonesia belum banyak yang menggunakan spektrometri. Dari sedikit penelitian yang dilakukan menggunakan data hiperspektral terbatas pada tanaman tebu (Hardjo dan Indrawati, 2018) dan jagung (Ardiansyah *et al.*, 2022). Oleh karena itu, terdapat kesenjangan dalam pengetahuan mengenai karakteristik spektral sayuran. Penggunaan sensor hiperspektral darat dapat secara efektif mengkarakterisasi spektral dan respon spektral tanaman akibat perlakuan pemupukan. Berdasarkan hal tersebut di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi profil respon spektral kubis yang ditanam di lahan sempit dan untuk menganalisis respon spektral kubis terhadap perlakuan tingkat pemupukan yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

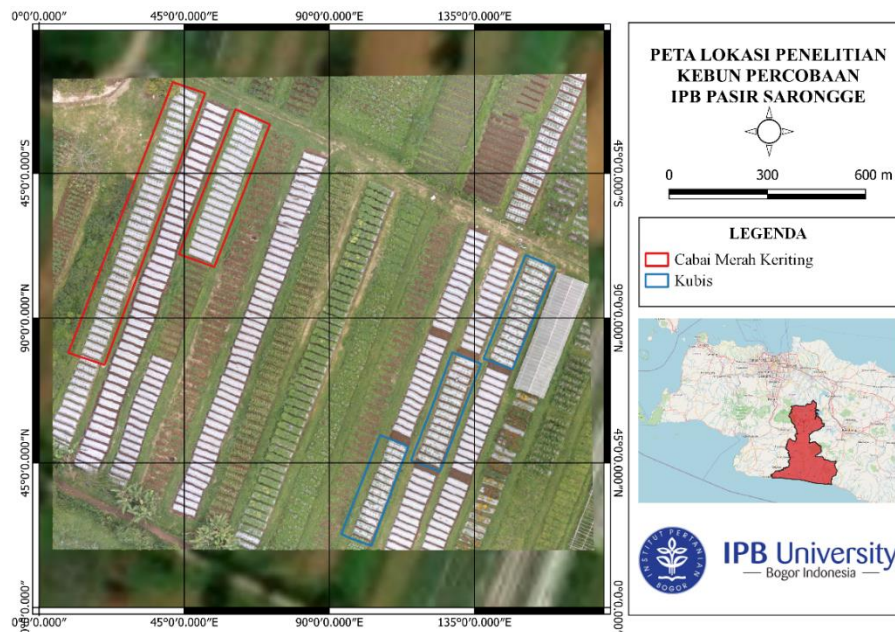
Penelitian berlokasi di wilayah Desa Ciputri, Kecamatan Pacet, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat (Gambar 1). Lokasi penelitian di Kebun Percobaan IPB di Pasir Sarongge yang berketinggian 1.054 m dpl. Pengukuran data spektral menggunakan spektrometri dilaksanakan pada periode bulan November 2022 hingga Januari 2023. Analisis dan interpretasi data dilakukan di Divisi Penginderaan Jauh dan Informasi Spasial, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi *Global Positioning System* (GPS) Garmin 64s dan spektrometri EKO MS-720. Selain itu, untuk mengolah data spektral digunakan seperangkat komputer yang dilengkapi dengan aplikasi statistik Minitab dan Microsoft Excel. Bahan penelitian yang digunakan meliputi citra drone dan pupuk serta dosisnya. Petak percobaan pemupukan merupakan bagian dari penelitian Kedaireka Tahun 2022, Departemen ITSL Fakultas Pertanian, IPB.

Metode

Kubis (*Brassica oleracea* L.) digunakan sebagai objek percobaan. Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok dengan 3 blok dan 7 perlakuan termasuk kontrol (tanpa pupuk) sehingga total ada 21 petak. Kecuali kontrol, semua petak ditambahkan pupuk dasar petrogenik 500 kg ha⁻¹, phonska 300 kg ha⁻¹ dan urea 200 kg ha⁻¹. Perlakuan terdiri dari pemupukan NPK cair dan phonska cair yang diberikan sebanyak 3 kali dengan volume semprot 500 l ha⁻¹ pada setiap penyemprotan (Tabel 1). Simbol pada Tabel 1 menunjukkan tingkat dosis pupuk yang diberikan (simbol A: perlakuan dosis pupuk yang terendah dan simbol G : perlakuan dosis pupuk tertinggi).



Gambar 1. Lokasi penelitian kebun percobaan Pasir Sarongge

Pembacaan spektral dilakukan dengan menggunakan spektorradiometer EKO MS-720, yang mencakup rentang panjang gelombang 350 hingga 1.050 nm dengan resolusi 1 nm. Instrumen dipanaskan selama 10 menit untuk memungkinkan detektor internal mencapai suhu yang setara. Pembacaan spektral dilakukan dengan 2 bidang pandang berbeda yang diarahkan berlawanan satu sama lain pada jarak 1 meter di atas tanaman. Bidang pandang 180° diarahkan ke zenit (atas) untuk merekam iradian matahari, sedangkan bidang pandang 45° diarahkan ke posisi nadir tanaman (bawah) untuk merekam radian kubis. Pengamatan karakteristik tanaman dan pembacaan spektral dilakukan sebanyak 5 kali dari 06 November hingga 16 Desember 2023 antara pukul 08.00 WIB - 12.00 WIB pada kondisi cuaca cerah (Tabel 2).

Nilai reflektansi kubis dihitung dengan membagi nilai radian kubis terhadap nilai iradian matahari menggunakan persamaan persamaan dibawah ini (EKO, 2016).

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

$$\Omega = 2\pi (1 - \cos (45^\circ/2)) = 0,478 \text{ sr}$$

dimana:

ρ = Reflektansi

I_d = Radian pantulan daun atau kanopi kubis ($W m^{-2} \mu^{-1}$)

I_u = Iradian yang diterima tajuk jagung ($W m^{-2} \mu^{-1}$)

Ω = solid view angle yang dibentuk sudut bidang pandang 45° (sr)

Analisis pengaruh pemupukan terhadap karakteristik spektral kubis dilakukan dengan sidik ragam (uji F) pada tingkat kepercayaan 95% pada panjang gelombang biru, hijau, merah, tepi merah (*red edge*) dan inframerah dekat. Untuk melengkapi analisis, pengaruh antar tingkat pemupukan diuji dengan uji Tukey pada taraf peluang 99% untuk panjang gelombang cahaya biru, hijau, merah, tepi merah dan inframerah dekat serta beberapa panjang gelombang yang mewakili panjang gelombang merah (622 nm dan 671 nm), tepi merah (718 nm dan 738 nm), dan inframerah dekat (757 nm dan 905 nm).

Tabel 1. Perlakuan pemupukan NPK cair dan phonska cair

No	Simbol	Perlakuan Pemupukan
1	A	Kontrol (tanpa pupuk)
2	B	Pupuk dasar
3	C	NPK cair 16-16-16 (dosis 2,5 l ha ⁻¹)
4	D	NPK cair 20-10-10 (dosis 2,5 l ha ⁻¹)
5	E	Phonska cair 10-8-3 (dosis 3 l ha ⁻¹)
6	F	Phonska cair 10-8-3 (dosis 5 l ha ⁻¹)
7	G	Phonska cair 10-8-3 (dosis 7 l ha ⁻¹)

Tabel 2. Jadwal pembacaan spektral kubis

Tanggal	Umur (Hari Setelah Tanam, HST)	Fase Tumbuh
06/11/2022	33	Vegetatif
12/11/2022	39	Generatif awal
20/11/2022	47	Generatif
06/12/2022	63	Generatif
16/12/2022	73	Generatif akhir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Spektral Kubis

Perkembangan respon spektral kubis dari umur 33 hingga 73 HST pada perlakuan pemupukan (Gambar 2) menunjukkan bahwa tren perubahan respon spektral dalam berbagai tahap umur mirip dengan ciri khas dari tren respon spektral vegetasi hijau. Dalam rentang cahaya tampak dan inframerah dekat, respon spektral kubis memiliki perbedaan nilai reflektan yang jelas. Seperti umumnya pada vegetasi hijau, pada cahaya tampak (400-700 nm) kubis menunjukkan nilai reflektan rendah pada gelombang biru dan merah, kecuali pada gelombang hijau. Nilai reflektan pada gelombang hijau sedikit lebih tinggi dari gelombang biru dan merah yang ditunjukkan oleh puncak minor di antara keduanya. Puncak yang diamati di wilayah hijau dikaitkan dengan kandungan klorofil dalam kubis. Menurut Asner (2008) klorofil merupakan pigmen utama yang mempengaruhi karakteristik spektral pada cahaya tampak dan tepi merah. Naomi *et al.* (2018) mengemukakan bahwa cahaya biru dan merah lebih banyak diserap oleh tanaman untuk proses fotosintensis, sedangkan hijau

sebagian tidak diserap sehingga terdapat puncak minor, dan oleh karena itu cahaya hijau lebih tinggi dipantulkan secara difus oleh daun dibandingkan cahaya biru atau hijau (Virtanen *et al.*, 2020). Pada Gambar 2, terjadi perbedaan reflektansi pada sekitar panjang gelombang 700 dan 750 nm. Pada rentang ini nilai reflektan kubis meningkat tajam antara gelombang merah tepi merah dan inframerah dekat. Panjang gelombang ini diketahui berguna untuk evaluasi status klorofil dan indeks luas daun (Horler *et al.*, 1983) dan ditemukan sebagai pita panjang gelombang yang berguna untuk menentukan kondisi pertumbuhan kubis.

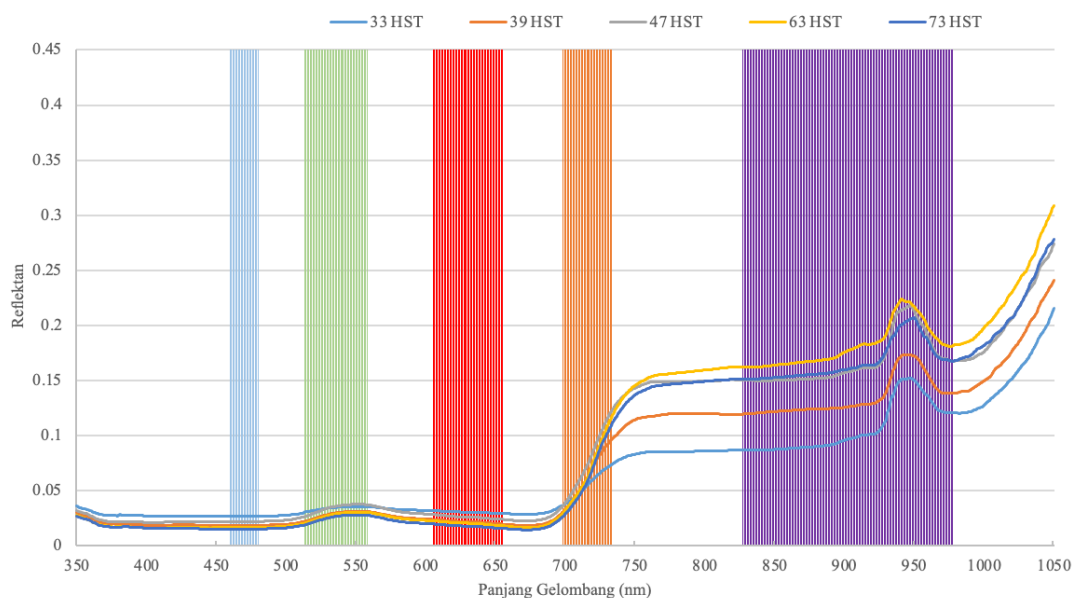
Pada Gambar 2 juga terlihat jelas bahwa nilai reflektan inframerah dekat (750-1.050 nm) lebih tinggi dibandingkan gelombang cahaya tampak. Menurut Chang *et al* (2005) ini terjadi karena inframerah dekat tidak dibutuhkan oleh klorofil dan banyak dipantulkan kembali oleh daun. Cahaya biru dan merah akan diserap oleh pigmen klorofil pada daun, sedangkan inframerah dekat dihamburkan kembali oleh struktur internal daun. Pengamatan lebih detil, menunjukkan bahwa nilai reflektan inframerah dekat meningkat bertahap pada kisaran panjang gelombang 950-970 nm, meningkat tajam membentuk puncak utama. Selanjutnya, nilai reflektan inframerah dekat menurun tajam pada panjang gelombang 973 nm karena diserap oleh air yang terdapat pada daun (Brosinsky *et al.*, 2019).

Tabel 3 memperlihatkan bahwa nilai reflektan kubis pada gelombang cahaya tampak menurun dengan bertambahnya umur kubis, sebaliknya nilai reflektan pada gelombang tepi merah dan inframerah dekat meningkat tajam dengan bertambahnya umur yang berkisar 55-190 %

dibandingkan reflektan tampak mata. Reflektan kubis pada gelombang tepi merah meningkat dari 33 HST hingga 47 HST, dan menurun memasuki fase vegetatif awal atau umur 63 HST. Sementara pada gelombang inframerah dekat, reflektan kubis meningkat dari 33 HST hingga 63 HST, dan menurun memasuki fase vegetatif akhir atau 73 HST. Penurunan reflektan pada cahaya tampak dan peningkatan reflektan inframerah dekat dengan bertambahnya umur hingga umur 63 HST dapat dikaitkan dengan peningkatan lebar daun kubis (Chang *et al.*, 2005) serta dan peningkatan kepadatan klorofil tanaman (Gitelson *et al.*, 1996). Penurunan reflektan inframerah dekat terjadi setelah umur 73 HST karena kubis memasuki fase generatif akhir. Menurut Strandberg *et al.* (1979) dalam Mohamed (2015), pada fase ini daun pembungkus krop membesar, krop kubis mulai berkembang dari dalam ke luar dan daun bagian luar krop melengkung menjauhi krop. Oleh karena itu, nilai reflektan inframerah dekat kubis pada 73 HST menurun akibat perkembangan krop kubis dan penuaan sebagian daun bagian luar krop.

Tabel 3. Tren rata-rata reflektan kubis pada kanal biru, hijau, merah, tepi merah dan inframerah

Kanal	Umur (HST)				
	33	39	47	63	73
Biru	0,0269	0,0188	0,0221	0,0166	0,0156
Hijau	0,0333	0,0269	0,0323	0,0244	0,0235
Merah	0,0306	0,0216	0,0260	0,0183	0,0177
Tepi merah	0,0643	0,0793	0,0980	0,0899	0,0859
Inframerah dekat	0,0877	0,1211	0,1504	0,1621	0,1511



Gambar 2. Karakteristik spektral tanaman kubis umur 33-73 HST

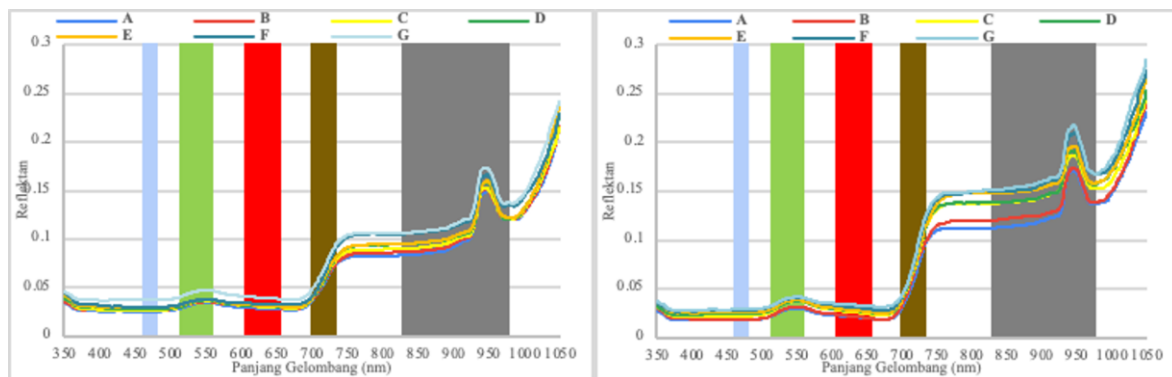
Respon Spektral terhadap Pemupukan

Respon spektral tersebut diukur 1 minggu setelah pemberian pupuk yaitu pada 33 dan 39 hari setelah tanam (HST), untuk memastikan tanaman cukup waktu menyerap hara sehingga perubahan respon spektral yang terjadi adalah akibat perlakuan pupuk. Gambar 3 menunjukkan bahwa respon spektral kubis pada setiap perlakuan pemupukan berpola mirip dengan ciri khas spektral vegetasi lainnya, dengan nilai reflektan yang berbeda. Pada cahaya tampak (biru, hijau, dan merah) nilai reflektan lebih rendah dan dibandingkan nilai reflektan inframerah dekat. Secara umum pola respon spektral untuk 7 perlakuan pada cahaya tampak pada 33 dan 39 HST ditunjukkan oleh kurva yang hampir berimpit satu sama sama lain. Gambar 3 juga menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis pupuk maka nilai reflektan kubis sedikit makin tinggi. Pada umur 39 HST reflektan kubis pada semua perlakuan lebih rendah dari umur 33 HST. Ini menunjukkan bahwa dengan semakin bertambah umur tanaman kubis, nilai reflektan kubis pada cahaya tampak semakin menurun. Seperti dijeaskan sebelumnya dengan semakin bertambahnya umur, semakin padat klorofil tanaman dan semakin banyak jaringan tanaman kubis menyerap cahaya tampak untuk proses fotosintesis. Menurut Padilla *et al.* (2018) cahaya tampak (biru, hijau, dan merah) diserap kurang lebih 80–90% oleh jaringan tanaman, dan menurut Puhartanto *et al.* (2019) tinggi rendahnya serapan atau pantulan cahaya tampak ditentukan oleh kadar klorofil tumbuhan.

Perbedaan karakteristik spektral antar perlakuan terlihat lebih jelas pada gelombang tepi merah dan inframerah dekat, dimana reflektansinya lebih tinggi dan kurva spektral antar perlakuan lebih terpisah dibandingkan gelombang cahaya tampak. Pada perlakuan B reflektan gelombang tepi merah lebih tinggi 2% dibandingkan perlakuan A (kontrol), 8% lebih tinggi pada perlakuan D, dan 28% lebih tinggi pada perlakuan G. Kenaikan reflektan

kubis karena perlakuan pupuk juga tercatat pada gelombang inframerah, yang mana perlakuan B lebih tinggi 4% dibandingkan perlakuan A (kontrol), 13% lebih tinggi pada perlakuan D, dan 27% lebih tinggi pada perlakuan G (Tabel 4). Menurut Chang *et al.* (2005) perbedaan pola spektral terlihat jelas pada tepi merah (700-750 nm) dan inframerah dekat (750-1.050 nm) akibat terjadinya penghamburan cahaya pada batang dan daun yang berbanding lurus dengan pertumbuhannya. Peningkatan hamburan cahaya pada tepi merah dipengaruhi oleh kadar/konsentrasi klorofil (Gitelson *et al.*, 1996). Pemupukan dosis tertinggi (perlakuan G) menunjukkan reflektansi paling tinggi pada puncak utama dari selang panjang gelombang 950-970 nm baik pada umur 33 maupun 39 HST. Berlawanan dengan cahaya tampak mata, pada gelombang inframerah dekat semakin bertambah umur kubis reflektansi semakin tinggi untuk semua perlakuan pemupukan. Hal ini diduga karena kadar klorofil pada perlakuan G lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lain.

Hasil uji sidik ragam pengaruh pemupukan terhadap respon spektral kubis (Tabel 5) menunjukkan bahwa pemupukan berpengaruh signifikan pada respon spektral kubis. Hal tersebut menunjukkan bahwa pasokan hara melalui pupuk diserap oleh tanaman yang pada gilirannya dapat meningkatkan pertumbuhan dan kadar klorofil daun. Menurut Fajri dan Soelistyono (2018) tanaman yang dipupuk hingga batas optimum dapat meningkatkan kadar klorofil pada daun, karena hara merupakan salah satu unsur pembentuk klorofil. Oleh karena itu pada kubis umur 33 HST perlakuan G berbeda nyata dengan perlakuan A, B, C, D, dan E, sedangkan pada 39 HST berbeda nyata dengan perlakuan A, B, dan C. Feret *et al.* (2011) menjelaskan bahwa perbedaan nilai reflektan dipengaruhi oleh jumlah biokimia zat dalam daun dan batang tanaman seperti klorofil-a, klorofil-b, karotenoid, nitrogen total, xantofil, kadar air daun, dan lainnya.



Gambar 3. Respon spektral kubis terhadap pemupukan pada 33 HST (kiri) dan 39 HST (kanan)

Tabel 4. Tren kenaikan reflektan karena perlakuan pemupukan pada gelombang tepi merah dan inframerah dekat

Gelombang	A			B			D			G		
	Reflektan	Reflektan	Tren ke A	Reflektan	Reflektan	Tren ke A	Reflektan	Reflektan	Reflektan	Reflektan	Tren ke A	
Tepi merah	0,0632	0,0643	2%	0,0683	0,0807	8%	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	28%	
Inframerah dekat	0,0847	0,0877	4%	0,0958	0,1078	13%	0,1078	0,1078	0,1078	0,1078	27%	

A = Kontrol (tanpa pupuk); B = Pupuk dasar D = NPK cair 20-10-10 (dosis 2.5 l ha⁻¹); G = Phonska cair 10-8-3 (dosis 7 l ha⁻¹)

Tabel 5. Uji Tukey pengaruh perlakuan pemupukan terhadap respon spektral kubis

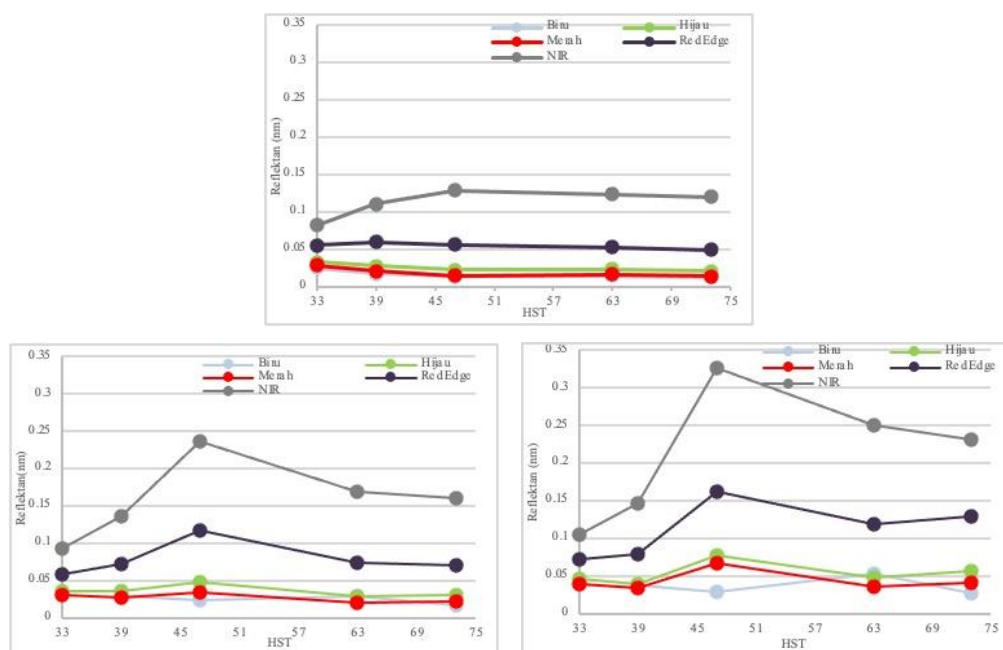
Perlakuan	Vegetatif	Generatif
	33 HST	39 HST
A Kontrol (tanpa pupuk)	0,069 c	0,074 d
B (pupuk dasar)	0,069 c	0,077 cd
C NPK cair 16-16-16 (dosis 2.5 l ha ⁻¹)	0,069 c	0,086 bc
D NPK cair 20-10-10 (dosis 2.5 l ha ⁻¹)	0,072 bc	0,088 ab
E Phonska cair 10-8-3 (dosis 3 l ha ⁻¹)	0,072 bc	0,088 ab
F Phonska cair 10-8-3 (dosis 5 l ha ⁻¹)	0,077 ab	0,088 ab
G Phonska cair 10-8-3 (dosis 7 l ha ⁻¹)	0,083 a	0,098 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda menurut kolom, berbeda nyata pada selang kepercayaan 95%

Pengaruh pemupukan terhadap spektral kubis pada berbagai panjang gelombang dievaluasi pada gelombang merah (622 nm dan 671 nm), tepi merah (718 nm dan 738 nm), dan inframerah dekat (757 nm dan 905 nm). Panjang gelombang dipilih berdasarkan penelitian Ardiansyah *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa panjang gelombang 622 nm, 671 nm, 718 nm, dan 757 nm merupakan panjang gelombang yang sensitif terhadap pemupukan terutama N. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada umur 33 HST semua perlakuan pemupukan berpengaruh nyata terhadap spektral kubis pada panjang gelombang merah (671 nm) dan inframerah dekat (757 nm dan 905 nm), sedangkan pada umur 39 HST semua perlakuan pemupukan berpengaruh nyata pada panjang gelombang merah (622 nm dan 671 nm), dan inframerah dekat (757 nm) pada taraf 5%. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa panjang gelombang 622 nm, 671 nm, 757 nm dan 905 nm konsisten sensitif terhadap perubahan hara tanaman akibat perlakuan pemupukan dengan dosis yang berbeda. Huang *et al.*, (2007) menyatakan bahwa spektrum pada panjang gelombang elektromagnetik berhubungan dengan klorofil yang mengindikasikan bahwa panjang gelombang sensitif terhadap nitrogen atau klorofil.

Perkembangan spektral kubis dari panjang gelombang biru, hijau, merah, tepi merah, dan inframerah

dekat pada tingkat perlakuan dosis pupuk dari rendah (kontrol, A), sedang (perlakuan C, 2.5 l ha⁻¹ NPK cair 16-16-16), dan tinggi (perlakuan G, 7 l ha⁻¹ phonska cair 10-8-3) pada Gambar 4 menunjukkan bahwa (1) pada umur yang sama semakin tinggi dosis pemupukan, semakin tinggi nilai reflektan gelombang biru, hijau dan merah. Semakin tinggi dosis pemupukan semakin tinggi nilai reflektan gelombang tepi merah dan inframerah dekat. Perubahan kadar klorofil pada tanaman dapat menjadi penyebab tinggi rendahnya intensitas reflektansi di antara tanaman (Feret *et al.* 2011 dan Ustin dan Jacquemoud, 2020). Variasi nilai reflektan yang stabil meningkat pada gelombang cahaya tampak dan tepi merah inframerah dekat, diinterpretasikan sebagai status pertumbuhan dan perkembangan kubis. Kubis dengan beberapa tingkat dosis hara yang memadai pada penelitian ini, seperti nitrogen, secara signifikan akan meningkatkan kadar klorofil (Muhammad *et al.*, 2022; Uysal, 2018), indeks luas daun dan aktivitas beberapa enzim seperti fosfoenolpiruvat karboksilase secara berbeda (Boussadia *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2014). Perbedaan kepadatan klorofil dan indeks luas daun tanaman menentukan tinggi rendahnya pantulan gelombang elektromagnetik pada panjang gelombang cahaya tampak dan inframerah dekat. (2) Semakin bertambah umur tanaman, maka reflektansi kubis pada gelombang biru, hijau, dan merah sedikit menurun, sebaliknya reflektansi kubis pada tepi merah dan inframerah dekat semakin meningkat hingga nilai tertinggi pada 45 HST dan menurun kembali setelah 63 HST. Tahap pertumbuhan mempengaruhi kadar klorofil dan indeks luas daun kubis terlepas dari tingkat pemupukan. Pada perlakuan yang sama, peningkatan umur tanaman hingga 63 HST, kadar klorofil dan indeks luas daun meningkat, sehingga nilai pantulan gelombang cahaya tampak dan inframerah dekat juga meningkat. Setelah 63 HST, pantulan gelombang cahaya tampak dan inframerah dekat menurun, akibat kubis memasuki fase penuaan.



Gambar 4. Respon spektral kubis pada gelombang biru, hijau, merah, tepi merah, dan inframerah terhadap perlakuan A (tengah atas), perlakuan C (kiri bawah) dan perlakuan G (kanan bawah)

SIMPULAN

Tren perubahan spektral kubis dalam tahapan umur memiliki pola yang mirip dengan tren spektral vegetasi hijau. Pada rentang cahaya tampak (400-700 nm) kubis menunjukkan nilai reflektansi rendah pada panjang gelombang biru dan merah, kecuali pada panjang gelombang hijau yang ditunjukkan oleh puncak minor. Puncak pada panjang gelombang hijau berkaitan dengan kadar klorofil pada kubis. Pada rentang panjang gelombang tepi merah (700-750 nm) dan inframerah dekat (750-1.050 nm) nilai reflektansi kubis meningkat tajam dan rata-rata 55-190 % lebih tinggi dari panjang gelombang tampak mata.

Perlakuan pemupukan berpengaruh nyata terhadap spektral kubis pada taraf 5%. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada umur yang sama semakin tinggi dosis pemupukan, semakin tinggi reflektansi gelombang cahaya tampak (biru, hijau dan merah), tepi merah dan inframerah dekat. Bertambahnya umur kubis terlepas dari tingkat pemupukan, reflektansi gelombang biru dan merah pada kubis sedikit menurun, sebaliknya reflektansi gelombang merah dan inframerah semakin meningkat, mencapai nilai tertinggi pada umur 45 hari setelah tanam dan menurun setelah 63 hari setelah tanam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Program Kedaireka DIKTI 2022 dan Divisi Penginderaan Jauh dan Informasi Spasial, Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirruddin, A.D., F.M. Muharam, M.H. Ismail, N.P. Tan and M.F. Ismail. 2022. Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) and Logistic Model Tree (LMT)-Adaptive Boosting algorithms for classifying imbalanced datasets of nutrient and chlorophyll sufficiency levels of oil palm (*Elaeis guineensis*) using spektrometers and unmanned aerial vehicles. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193: 1-16.
- Ardiansyah, M., B. Nugroho dan A. Al-Fajar. 2022. Respon spektral tajuk jagung pada beberapa perlakuan pemupukan. *Jurnal Ilmu Tanah Lingkungan*, 1(24): 25-31.
- Asner, G.P., J.A. Hicke and D.B. Lobell. 2008. Per-Pixel Analysis of Forest Structure Vegetation Indices, Spectral Mixture Analysis And Canopy Reflectance Modeling. P. 209-251 (chapter 7) in M.A. Wulder and S.E. Franklin, editors. *Remote Sensing of Forest Environments: Concepts and Case Studies*. Kluwer Academic Publishers. Boston (USA).
- Boussadia, O., K. Steppe, H. Zgallai, S. Ben El Hadj, M. Braham, R. Lemeur and M.C. Van Labeke. 2010. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars "Meski" and "Koroneiki." *Scientia Horticulturae*, 123(3): 336-342.
- Brosinsky, A., T. Kuester, S. Foerster, H. Kaufmann, K. Segl and L. Guanter. (eds). 2019. *Principles of imaging spectroscopy: Electromagnetic radiation and its interactions with earth surface materials*. HYPERedu, EnMAP education initiative, German Centre for Geosciences GFZ; originally published October 2019, 2nd revision February 2023.
- 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 Spektrometer*. EKO Instruments CO., Ltd. Tokyo (JPN)
- Fajri, L.N. dan Soelistyono. 2018. Pengaruh kerapatan tanaman dan pupuk urea terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kale (*Brassica oleracea* var *acephala*). *PLANTROPICA Journal of Agricultural Science*, 3(2): 133-140.
- Feret, J.B., C. Francois, A. Gitelson, G.P. Asner, K.M. Barry, C. Panigada, D. Richardson and S. Jacquemoud. 2011. Optimizing spectral indices and chemometric analysis of leaf chemical properties using radiative transfer modeling. *Remote Sensing of Environment*, 115(10): 2742-2750.
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman and M.N. Merzlyak. 1996. Use of green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.*, 58(3): 289–298.
- Hardjo, K.S. dan L. Indrawati. 2018. Pola spektral tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) menggunakan spektrofotometer dan citra penginderaan jauh di Kabupaten Bantul. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan*, 1(2): 153-160.
- Honkavaara, E., J. Kaivosoja, J. Mäkyänen, I. Pellikka, L. Pesonen, H. Saari, H. Salo, T. Hakala, L. Markelin and T. Rosnell. 2012. Hyperspectral reflectance signatures and point clouds for precision agriculture by light weight UAV imaging system. In *Proceedings of the XXII ISPRS Congress*, Melbourne, Australia, 25 August–1 September 2012; Volume I – 7.
- Horler, D.N.H., M. Dockray and J. Barber. 1983. The red edge of plant leaf reflectance. *Int. J. Remote Sens.*, 4: 273-288.
- Huang, W.J., D.W. Lamb, Z. Niu, Y.J. Zhang, L.Y. Liu and J.H. Wang. 2027. 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. 2024. *Angka Tetap Hortikultura 2023*. Direktorat Jenderal Hortikultura, Kementerian Pertanian. Jakarta (ID).
- Mohamed, S.S.M. 2015. *Studies On Cabbage Alternaria Leaf Spot Disease*. Zigazig University. Mesir.
- Muhammad, I., L. Yang, S. Ahmad, S. Farooq, A.A. Al-Ghamdi, A. Khan, M. Zeeshan, M.S. Elshikh, A.M. Abbasi and X.B. Zhou. 2022. Nitrogen fertilizer

- modulates plant growth, chlorophyll pigments and enzymatic activities under different irrigation regimes. *Agronomy*, 12(845): 1-20.
- Naomi, A., J. Pertiwi, P.A. Permatasari, S.N. Dini dan A. Saefullah. 2018. Keefektifan panjang gelombang cahaya terhadap pertumbuhan tanaman kacang hijau. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 4(2): 94-102.
- Nebiker, S., A. Annen, M. Scherrer and D. Oesch. 2008. A light-weight multispectral sensor for micro UAV - Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS): Beijing, China, 2008; Volume 37(B1).
- Padilla, F.M., M. Gallardo, M.T. Peña-Fleitas, R. De Souza and R.B. Thompson. 2018. Proximal optical sensors for nitrogen management of vegetable crops: A review. *Journal of Sensors*, 18(7): 1-23
- Purhartanto, L.N., P. Danoedoro dan P. Wicaksono. 2019. Kajian transformasi indeks vegetasi citra satelit Sentinel-2A untuk estimasi produksi daun kayu putih menggunakan linear spectral mixture analysis. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan*, 3(1): 35-58.
- [Pusdatin] Pusat Data dan Informasi. 2022. Statistik Konsumsi Pangan Tahun 2020. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta (ID).
- Steiner, U., K. Burling and E.C. Oerke. 2008 Sensorik für einen präzisierten Pflanzenschutz. *Gesunde Pflanz*, 60: 131-144.
- Ustin, S.L. and S. Jacquemoud. 2020. How the optical properties of leaves modify the absorption and scattering of energy and enhance leaf functionality. *Remote Sens. Plant Biodivers*, 349-384.
- Uysal, E. 2018. Effects of nitrogen fertilization on the chlorophyll content of apple. *Meyve Bilimi/Fruit Science*, 5(1): 12-17.
- Virtanena, O., E. Constantinidou and E. Tyystjärvi. 2020. Chlorophyll does not reflect green light – how to correct a misconception. *Journal of biological education*, 56(5): 552-559
- Zhu, Y., X. Fan, X. Hou, J. Wu and T. Wang. 2014. Effect of different levels of nitrogen deficiency on switchgrass seedling growth. *Crop Journal*, 2(4): 223-234.
-