

# KARAKTERISTIK REFLEKTANSI SPEKTRAL LAMUN MENGGUNAKAN DATA SPEKTROMETER DI PERAIRAN KEPULAUAN SERIBU

## *SEAGRASS SPECTRAL REFLECTANCE CHARACTERISTIC USING SPECTROMETER DATA IN KEPULAUAN SERIBU WATERS*

Hartoni<sup>1</sup>, Vincentius P Siregar<sup>2</sup>, Sam Wouthuyzen<sup>3</sup>, & Syamsul Bahri Agus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

<sup>2</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

<sup>3</sup>Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

<sup>4</sup>Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas MIPA, Universitas Sriwijaya

e-mail : hartoni.unsri@gmail.com

Diterima tanggal: 18 Februari 2021 ; diterima setelah perbaikan: 17 Maret 2022 ; Disetujui tanggal: 30 Maret 2022

### ABSTRAK

Padang lamun merupakan ekosistem tumbuhan berbunga yang hidup di perairan laut dangkal. Padang lamun memiliki kemampuan untuk beradaptasi di perairan dengan salinitas tinggi. Padang lamun mempunyai peran ekologis yang sangat penting dan bernilai ekonomis tinggi. Padang lamun pada suatu perairan dapat dideteksi dengan pengukuran reflektansi gelombang elektromagnetiknya. Tujuan penelitian adalah menganalisis karakteristik reflektansi spektral lamun yang diukur secara in situ menggunakan spectrometer. Penelitian dilaksanakan pada September 2018 di dua lokasi: a) di Pulau Pramuka, Pulau Panggang dan Pulau Karya; dan b) di Pulau Lancang Kabupaten Kepulauan Seribu. Pola reflektansi spektral lamun pada kedua lokasi menunjukkan kemiripan namun memiliki nilai intensitas reflektansi yang berbeda. Reflektansi spektral lamun memiliki puncak yang berbeda pada panjang gelombang hijau (500-600 nm), panjang gelombang merah tepi (700-750 nm), dan panjang gelombang inframerah dekat (800-850 nm). Uji ANOVA dari nilai reflektansi di dua lokasi penelitian menunjukkan hasil yang berbeda nyata antar jenis lamun. Uji Tukey menunjukkan perbedaan signifikan antar jenis lamun kecuali jenis *Cymodocea serrulata* dan *Enhalus acoroides*. Analisis diskriminan menunjukkan panjang gelombang orange (585-620 nm), kuning (575-585 nm), hijau kuning (550-575 nm), dan hijau (510-550 nm) merupakan panjang gelombang yang dapat digunakan untuk mendiskriminasi dan memetakan lamun.

**Kata kunci:** Kepulauan Seribu, Lamun, Reflektansi, Spectrometer.

### ABSTRACT

*Seagrass beds are flowering plant ecosystems that live in shallow marine waters. Seagrass beds can adapt to high salinity waters. Seagrass beds have a very important ecological role and high economic value. Seagrass beds in certain waters can be detected by measurement the reflectance of its electromagnetic waves. The research objective was to analyze the spectral reflectance characteristics of seagrass which were measured in situ using a spectrometer. The research was conducted in September 2018 in two locations: a) in Pramuka Island, Panggang Island, and Karya Island; and b) in Lancang Island, Kepulauan Seribu Regency. The spectral reflectance patterns of seagrass at both locations showed similarities but had different reflectance intensity values. The spectral reflectance of seagrass has different peaks at the green wavelength (500-600 nm), red-edge wavelength (700-750 nm), and near-infrared wavelength (800-850 nm). ANOVA test of the reflectance value in the two research locations showed significantly different results between types of seagrass. Tukey's test showed significant differences between seagrass species except for *Cymodocea serrulata* and *Enhalus acoroides*. Discriminant analysis showed that the wavelengths of orange (585-620 nm), yellow (575-585 nm), green-yellow (550-575 nm), and green (510-550 nm) are wavelengths that can be used for discriminate and map the seagrass.*

**Keywords:** Kepulauan Seribu, Reflectance, Seagrass, Spectrometer.

## PENDAHULUAN

Padang lamun merupakan salah satu ekosistem benthik perairan yang mempunyai peran ekologis dan ekonomis sangat penting dalam mendukung keberlangsungan hidup sektor sosial ekonomi, khususnya bagi masyarakat di wilayah pesisir. Diantara fungsi penting tersebut antara lain adalah sebagai tempat berlindung dan mencari makan berbagai biota laut, tempat memijah, menstabilkan sedimen, menjaga stok ikan, menyaring polusi, dan menjernihkan air sehingga melindungi perairan sekitarnya dari polusi (Hemminga & Duarte, 2000; Orth *et al.*, 2006; Nadiarti *et al.*, 2012; Fitriani *et al.*, 2017), penyimpan karbon jangka panjang, sebagai sumber bahan industri makanan dan obat-obatan, dan sumber plasma nutfah yang sangat penting (Björk *et al.*, 2008). Selain itu, kemampuan padang lamun dalam mengubur karbon pada sedimennya juga 50 kali lebih efektif dibandingkan hutan tropis (Laffoley & Grimsditch, 2009), sehingga padang lamun merupakan salah satu *blue carbon sink* yang efektif (Duarte *et al.*, 2010; Kennedy *et al.*, 2010; Fourqurean *et al.*, 2012).

Setiap benda mempunyai struktur partikel yang berbeda. Perbedaan struktur ini mempengaruhi pola respon gelombang elektromagnetiknya, sehingga pengenalan atas perbedaan respon elektromagnetik tersebut dapat dijadikan landasan untuk membedakan objek (Isnaen *et al.*, 2019). Karakteristik objek dapat diketahui melalui pantulan atau reflektansi gelombang elektromagnetiknya (Sidike *et al.*, 2015).

Kajian mengenai pengukuran variasi reflektansi spektral objek telah berkembang untuk substrat dasar perairan (Holden & LeDrew, 2001; Call *et al.*, 2003; Louchard *et al.*, 2003; Hochberg *et al.*, 2004; Karpouzli *et al.*, 2004; Purkis & Pasteskamp, 2004; Leiper *et al.*, 2012; Giardino *et al.*, 2017). Respons spektral yang ditangkap oleh sensor spektrometer salah satunya adalah reflektansi. Reflektansi merupakan besarnya energi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh suatu benda. Pengukuran reflektansi spektral suatu objek dengan teknologi penginderaan jauh dilakukan dengan melihat variasi pantulan yang direkam oleh alat yang dinamakan sensor dan diolah menjadi informasi (Lillesand *et al.*, 2004).

Keberadaan lamun dapat dideteksi berdasarkan pantulan gelombang elektromagnetiknya (Dekker *et al.*, 2006). Lamun merupakan komunitas yang kompleks baik dilihat dari segi optik, spasial maupun temporal. Reflektansi spektral spesies lamun memiliki

perbedaan yang disebabkan oleh adanya variasi pigmen dan anatomi daun (struktur internal, serat, dan lain-lain) (Fyfe, 2003; Durako, 2007). Penelitian mengenai reflektansi spektral lamun dengan menggunakan data pengukuran *in situ* telah dilakukan peneliti diantaranya Fyfe (2003) yang mengkaji spektral reflektansi daun lamun pada spesies *Zostera capricorni*, *Posidonia australis*, dan *Halophila ovalis* daun yang tercemar dan tidak tercemar di habitat laut dan payau pada tiga muara di Australia. Durako (2007) mengkaji sifat optik daun lamun pada spesies *Posidonia australis*, *Posidonia sinuosa*, *Posidonia coriacea*, *Posidonia angustifolia*, *Amfibolis antarctica*, *Amfibolis griffithii*, *Zostera tasmanica*, dan *Zostera capricorni* dan *Halophila ovalis* di Australia. Thorhaug *et al.* (2007) mengkaji reflektansi spektral lamun *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme* di Tenggara Pantai Florida. Bargain *et al.* (2012) mengkaji respon spektral lamun *Zostera noltii* pada habitat sedimen yang berbeda di Teluk Bourgneuf, Prancis. Pu *et al.* (2012) mendiskriminasi spesies dan penutupan lamun dengan data hiperspektral *in situ* di sepanjang garis pantai barat laut negara bagian Pinellas, Florida. Suwandana *et al.* (2012) mengkaji pantulan spektral reflektansi lamun *Enhalus acoroides* dengan kesuburan perairan yang berbeda pada skala laboratorium. Alkhatlan *et al.* (2018) mendeteksi lamun menggunakan data reflektansi *in situ* dan satelit di perairan nasional Bahrain. Hwang *et al.* (2019) mengkaji dampak organisme epifit dan kedalaman terhadap profil spektral lamun di Teluk St. Vincent Australia. Aziizah *et al.* (2015) mendeteksi lamun menggunakan data reflektansi *in situ* dan satelit di ekosistem lamun Pulau Tunda Provinsi Banten. Wicaksono & Kamal (2017) mengkaji respon reflektansi spektral daun lamun yang rusak dibandingkan daun sehat di Pulau Karimunjawa. Wicaksono *et al.* (2019) menganalisis reflektansi spektral lamun dengan dan tanpa tutupan organisme epifit di Pulau Karimunjawa.

Pengukuran reflektansi spektral secara *in situ* menjadi hal yang penting untuk dilakukan untuk melihat apakah ada perbedaan yang spesifik pada lamun berdasarkan reflektansi spektral dengan memanfaatkan wahana penginderaan jauh. Tujuan penelitian adalah menganalisis karakteristik reflektansi spektral lamun di perairan dangkal Kepulauan Seribu yang diukur secara *in situ* menggunakan spektrometer. Diharapkan hasil studi ini akan menjadi informasi penting dalam mengungkapkan sifat optik lamun melalui metode analisis yang menghubungkan reflektansi lamun yang diterima oleh sensor dengan karakteristik biologi dan fisik komunitas benthik lamun sebagai hasil interaksi

dengan lingkungan perairan. Informasi ini diharapkan dapat digunakan pada sistem penginderaan jauh dengan satelit untuk mendeteksi dan mengklasifikasi lamun di perairan dangkal.

## BAHAN DAN METODE

### Waktu dan Lokasi Penelitian

Proses pengukuran reflektansi spektral lamun di lapangan dilakukan pada September 2018. Pengolahan dan analisis data dilakukan pada Oktober - Desember 2018. Pengukuran respons spektral dilakukan di dua lokasi yaitu a) di perairan Pulau Pramuka, Pulau Panggang dan Pulau Karya; dan b) di perairan Pulau Lancang (Gambar 1).

### Pengukuran Reflektansi Spektral Lamun

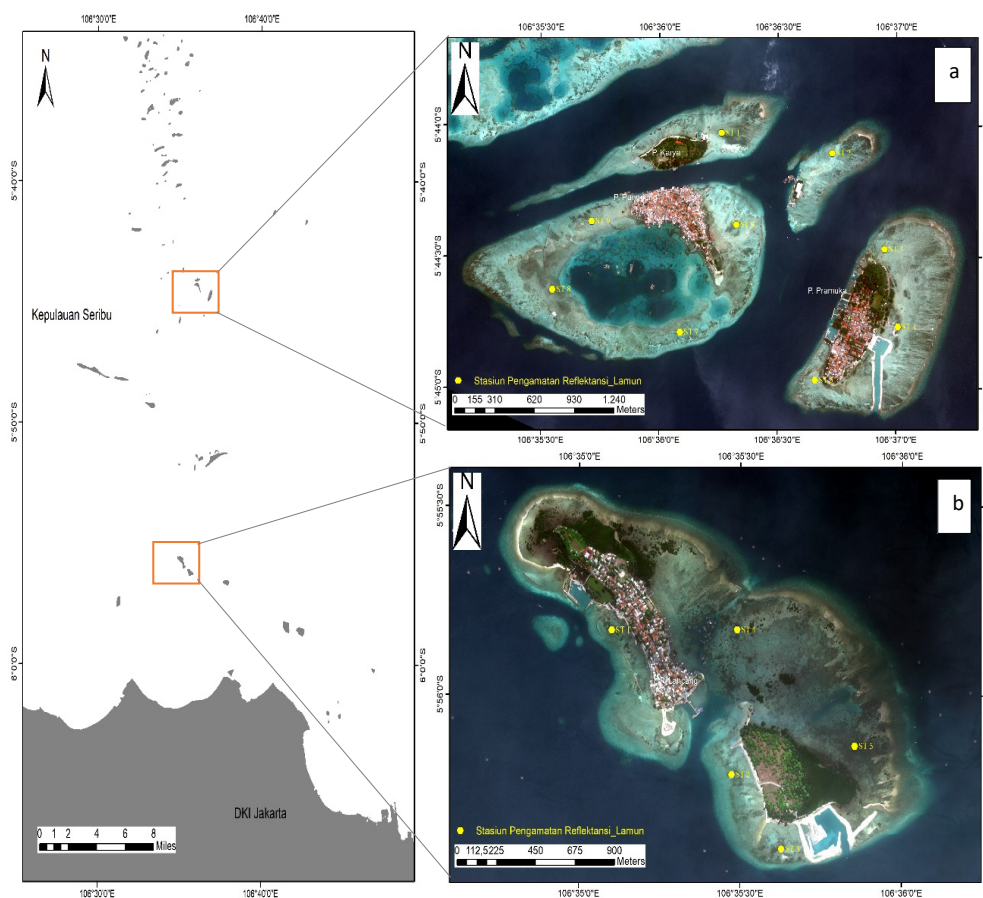
Penentuan lokasi sampel dilakukan berdasarkan keberadaan lamun di daerah penelitian. Pengambilan sampel tersebut berdasarkan pada persentasi penutupan lamun yang lebih dari 50% pada titik pengambilan sampel. Luas penutupan lamun diestimasi dengan menggunakan bingkai kuadrat berukuran 50 x 50 cm<sup>2</sup>,

berdasarkan acuan pada persentasi penutupan lamun dari Seagrass watch yang telah disiapkan (McKenzie *et al.*, 2003).

Sebelum pengukuran reflektansi spektral obyek dilakukan, terlebih dahulu disiapkan alat spektrometer dan alat pendukung yang digunakan seperti kabel yang diujungnya ada *probe* yang dihubungkan dengan spektrometer. Selanjutnya spektrometer dihubungkan dengan laptop melalui kabel data.

Pengukuran reflektansi spektral lamun dilakukan secara *in situ* yaitu pengukuran yang dilakukan langsung di lapangan. Pembacaan besaran pantulan spektral dilakukan menggunakan *Analytical Spectral Devices (ASD) FieldSpec 4 HI-Res* yang merekam cahaya dengan 2151 saluran, dan rentang spektral 350-2500. *FieldSpec 4* dikalibrasi melalui Spectralon SRM-99 (Jackson *et al.*, 1980), menjadi panel referensi yang paling tepat secara optik untuk rentang spektral dari spektrometer yang digunakan.

Setiap obyek diukur dengan cara mengarahkan *probe*



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian, a) Pulau Pramuka, Pulau Panggang dan Pulau Karya; b) Pulau Lancang .

Figure 1. Map of research location, a) Pramuka, Panggang and Karya Island b) Lancang Island.

(sumber : citra Worldview 2)

dari spektrometer pada bagian permukaan daun lamun dengan sudut pengukuran reflektansi 45° dan jarak pengukuran ± 5 cm antara objek dengan *probe*. Langkah selanjutnya yaitu menyimpan hasil pengukuran reflektansi yang telah tercatat oleh spektrometer. Sampel spektral di setiap jenis lamun diambil sebanyak 10 kali pembacaan. Alur kerja penelitian disajikan pada Gambar 2.

### Analisis Data

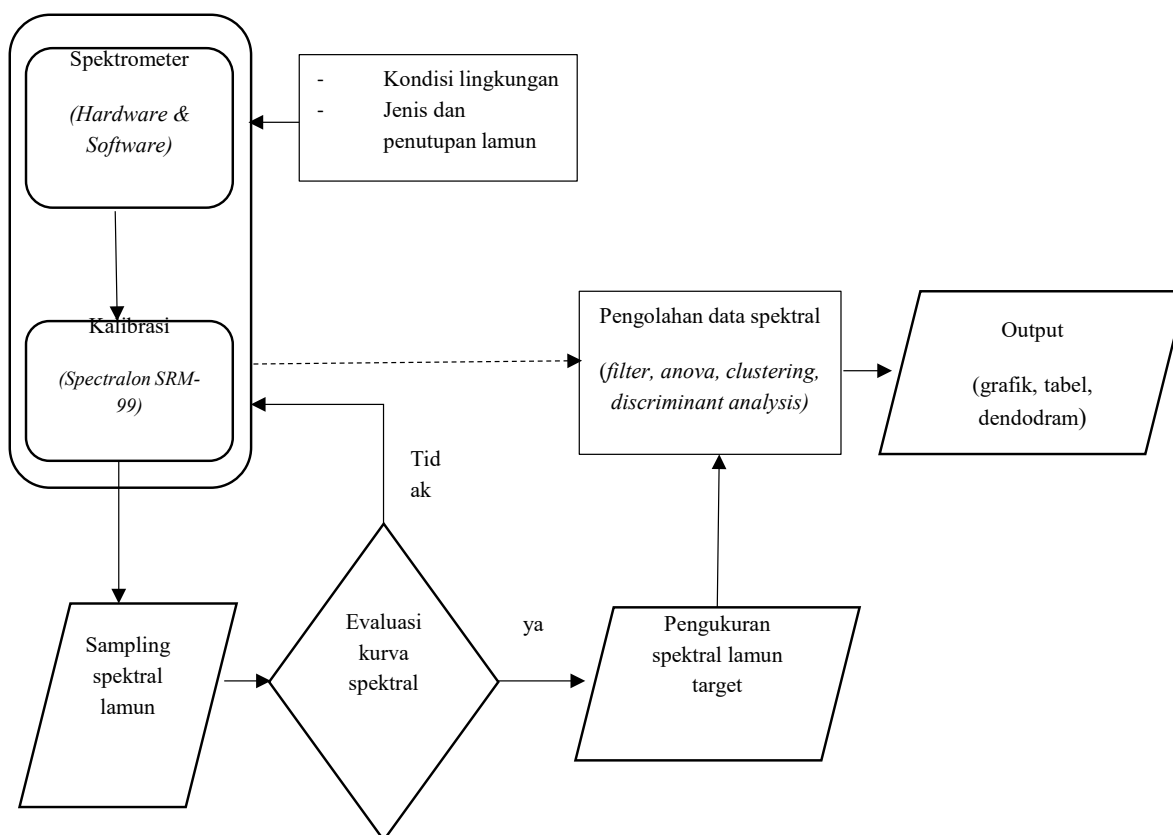
Data mentah pantulan spektrum dari hasil pengukuran di lapangan, diekstraksi dengan perangkat lunak ViewSpecPro Ver. 6.2.0 untuk *post-processing*. Langkah-langkah pasca-pemrosesan ekstraksi data ke format file ASCII dan selanjutnya diolah lebih lanjut. Hasil pengukuran reflektansi spektral lamun di lapangan, selanjutnya difilter terlebih dahulu untuk menghilangkan data dari *noise*/derau. Proses pemfilteran data dilakukan menggunakan metode *moving average* yang memfilter data berdasarkan perhitungan rata-rata (Mathews & Fink, 2004). Kemudian dilakukan proses perataan nilai reflektansi untuk setiap jenis lamun. Selanjutnya pantulan spektral ditampilkan dalam bentuk grafik, dimana pada sumbu X merupakan panjang gelombang dan pada sumbu Y merupakan nilai rata-rata spektral dari setiap spesies

lamun. Sebelumnya dilakukan pencocokan serangkaian data spektral. Pengolahan data awal dilakukan dengan filtering data dari 400-900 nm dan menghasilkan 501 nilai reflektansi (n= 501) dengan interval antar panjang gelombang yaitu 1 nm.

Data pantulan spektral yang diperoleh dari masing-masing jenis lamun dianalisis statistik. Adapun langkah-langkah pengolahan dan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

#### a) Analisis kemiripan reflektansi spektral

Analisis perbandingan nilai reflektansi pada berbagai panjang gelombang menggunakan ANOVA bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai reflektansi pada spesies lamun. Hipotesis yang dibuat adalah  $H_0$  artinya tidak terdapat perbedaan antar variabel. Jika terdapat perbedaan yang nyata antar variabel maka  $H_0$  ditolak dan dilanjutkan dengan uji Tukey. Pengujian digunakan untuk membandingkan seluruh rata-rata perlakuan setelah uji beda nyata dilakukan. Biasanya digunakan jika analisis data dalam penelitian dilakukan dengan cara membandingkan data dua kelompok sampel yang jumlahnya sama, maka dilakukan pengujian hipotesis komparasi dengan uji Tukey. Uji lanjut tersebut digunakan untuk menghasilkan panjang gelombang yang memberikan perbedaan signifikan dan dijadikan



Gambar 2. Alur kerja penelitian.  
Figure 2. The workflow of research.

sebagai penciri berdasarkan karakteristik spektral (Supranto, 2004).

**b) Analisis pengelompokan nilai reflektansi**

Analisis pengelompokan (*clustering*) lamun dengan menentukan kemiripan antar jenis berdasarkan respon spektral pada panjang gelombang yang diamati. Ukuran kemiripan yang digunakan adalah jarak euclidean (*euclidean distance*). Jarak menentukan kemiripan atau ketidakmiripan spektral dimana objek dengan jarak yang lebih pendek maka lebih mirip satu sama lain dibandingkan dengan objek yang memiliki jarak lebih panjang (Supranto, 2004).

**c.) Analisis diskriminan (*discriminant analysis*)**

Analisis dilakukan untuk menentukan spektrum panjang gelombang yang mampu memisahkan nilai spektral untuk setiap spesies lamun. Adapun analisis yang digunakan adalah analisis diskriminan (*discriminant analysis*) yang merupakan salah satu teknik statistik yang biasa digunakan pada hubungan dependensi (hubungan antar variabel yang sudah dapat dibedakan variabel respon dan variabel penjelas) (Mattjik & Sumertaja, 2011).

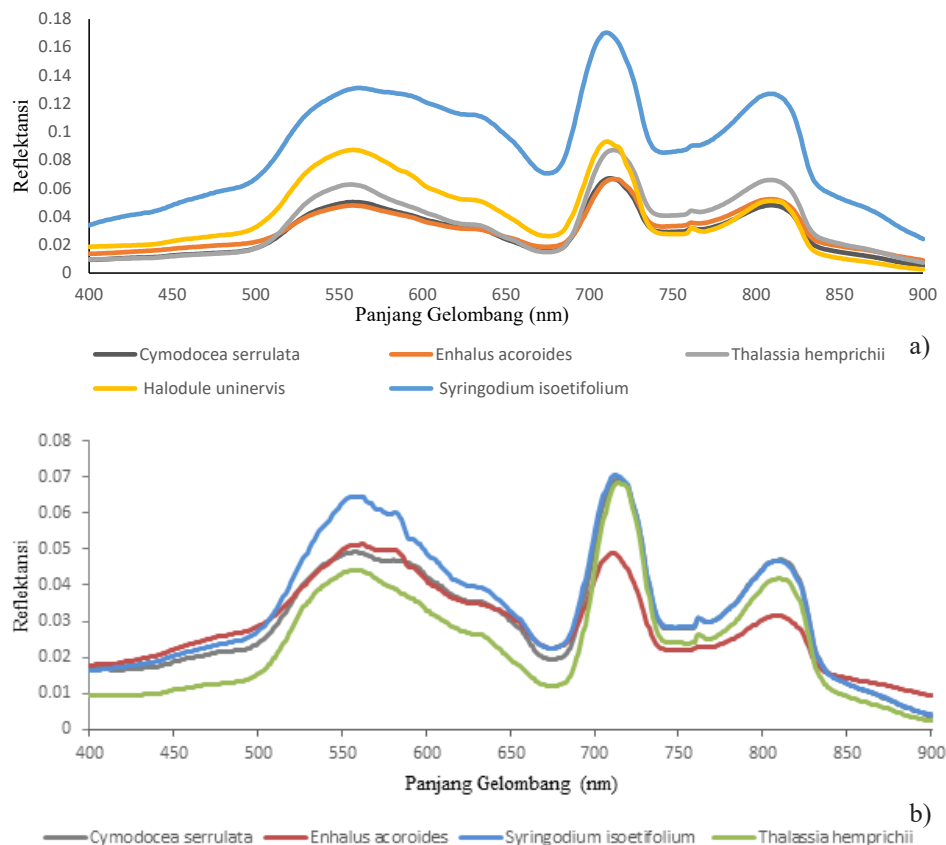
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Pola Spektral Reflektansi Lamun

Pada saat penelitian jenis lamun di perairan Pulau Pramuka, Pulau Panggang dan Pulau Karya ditemukan terdapat lima jenis lamun yakni *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, *Thalassia Hemprichi*, *Syringodium isoetifolium*, dan *Halodule uninervis*. Sedangkan jenis lamun di perairan Pulau Lancang ditemukan terdapat 4 jenis lamun yakni *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, *Thalassia Hemprichi*, dan *Syringodium isoetifolium*.

Reflektansi merupakan suatu pantulan energi yang telah mengenai objek di permukaan bumi. Pola karakteristik reflektansi dari spesies lamun di lokasi penelitian, a) Pulau Pramuka, Panggang dan Karya; dan b) Pulau Lancang disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3 diketahui dari semua jenis lamun di dua lokasi penelitian memiliki kemiripan pola reflektansi spektral namun memiliki nilai reflektansi yang berbeda. Reflektansi spektral lamun memiliki puncak (*peak*) yang berbeda pada panjang gelombang



Gambar 3. Pola reflektansi spektral jenis lamun a) Pulau Pramuka, Panggang dan Karya, b) Pulau Lancang.  
Figure 3. Spectral reflectance pattern of seagrass a) Pramuka, Panggang and Karya Island b) Lancang Island.  
(Sumber: Hasil pengukuran)

500-600 nm (panjang gelombang hijau), 700-750 nm (panjang gelombang merah tepi) dan 800-850 nm (panjang gelombang inframerah dekat). Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Pu *et al.* (2012) dan Fyfe (2003) yang mengukur pola reflektansi spektral lamun dan menunjukkan adanya puncak di panjang gelombang 500 - 650 nm dan 700 - 800 nm. Selanjutnya juga Thorhaug *et al.* (2007) melakukan penelitian dengan mengukur respon spektral spesies padang lamun *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme*, *Halodule wrightii*, menunjukkan bahwa pantulan spektralnya secara konsisten terdapat perbedaan pantulan spektral ketiganya pada panjang gelombang 520 - 530 nm, 530 - 580 nm, 580 - 600 nm dan *red-edge* (680 - 700 nm), sehingga keempat julat spektral inilah yang dapat digunakan untuk membedakan spesies tersebut.

Nilai reflektansi lamun di Pulau Pramuka, Panggang dan Karya yaitu jenis lamun *Syringodium isoetifolium* memiliki nilai reflektansi tertinggi diikuti jenis *Halodule uninervis* dengan puncak pada panjang gelombang 500 - 600 nm (panjang gelombang hijau), 700 - 750 nm (panjang gelombang merah tepi) dan 800 - 850 nm (panjang gelombang inframerah dekat). Sedangkan nilai reflektansi terendah pada panjang gelombang hijau (500-600 nm) dan 700-750 nm (panjang gelombang merah tepi) yaitu jenis *Enhalus acoroides*, panjang gelombang inframerah dekat (800 - 850 nm) yaitu jenis *Cymodocea serrulata*.

Nilai reflektansi lamun di Pulau Lancang yaitu lamun jenis *Syringodium isoetifolium* memiliki nilai reflektansi tertinggi dengan puncak pada panjang gelombang 500 - 600 nm (panjang gelombang hijau), 700 - 750 nm (panjang gelombang merah tepi) dan 800 - 850 nm (panjang gelombang inframerah dekat). Sedangkan nilai reflektansi terendah pada panjang gelombang hijau (500 - 600 nm) yaitu jenis *Thalassia hemprichi*, untuk panjang gelombang merah tepi (700 - 750 nm) dan panjang gelombang inframerah dekat (800 - 850 nm) yaitu jenis *Enhalus acoroides*.

Pola reflektansi spektral di dua lokasi penelitian memiliki kemiripan pola reflektansi spektral namun berbeda dalam kekuatan nilai reflektansi. Hal ini dikarenakan seperti dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Durako (2007) yang menyatakan bahwa perbedaan nilai optik antar spesies daun lamun berada pada panjang gelombang hijau (500 - 600 nm), merah tepi (700 - 750 nm), inframerah dekat (700 - 850 nm) disebabkan oleh variasi pigmen dan fungsi anatomi daun. Wicaksono & Kamal (2017) kondisi kesehatan lamun dan penutupan organisme

*epibiont* pola reflektansi lamun tetap sama tapi kekuatan nilai reflektansi yang berbeda. Menurut Fyfe (2004) dan Hwang *et al.* (2019) konsentrasi pigmen daun, struktural pada anatomi bagian dalam daun dan keberadaan organisme *epibiont* berkaitan dengan kemampuan merefleksikan cahaya dari pantulan permukaan daun.

### Analisis Kemiripan Reflektansi Spektral

Input data yang digunakan pada analisis ragam adalah menggunakan nilai reflektansi secara keseluruhan pada panjang gelombang 400 - 900 nm dengan interval 1 nm. Hasil analisis ragam menggunakan ANOVA pada lima jenis lamun Pulau Pramuka, Panggang dan Karya dan empat jenis lamun di Pulau Lancang disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Hasil uji ANOVA yang diperoleh menunjukkan Lokasi Pulau Pramuka, Panggang dan Karya (Tabel 1) dan Lokasi Pulau Panggang (Tabel 2) memiliki reflektansi yang berbeda nyata dengan nilai  $F_{hitung} >$  dari  $F_{tabel}$ . Kesimpulan dari pengujian menggunakan ANOVA adalah menolak  $H_0$ , artinya bahwa dari variabel panjang gelombang yang diuji terdapat perbedaan spektral yang signifikan antar jenis sehingga perlu dilakukan uji lanjut untuk mengetahui perbedaannya. Analisis ANOVA memiliki teknik post hoc test salah satunya adalah uji Tukey.

Uji Tukey memberikan hasil analisis berupa nilai signifikansi antar spesies dimana nilai  $<0,05$  menunjukkan bahwa antar spesies lamun tidak memiliki perbedaan yang signifikan dan sebaliknya  $>0,05$  menunjukkan bahwa antar spesies lamun tidak memiliki perbedaan yang signifikan berdasarkan nilai reflektansinya. Data yang dibandingkan adalah nilai reflektansi lamun dengan panjang gelombang 400 - 900 nm. Hasil analisis uji Tukey disajikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Hasil uji Tukey reflektansi spektral lamun di Pulau Pramuka, Panggang dan Karya (Tabel 3) menunjukkan tidak berbeda signifikan antara jenis *Cymodocea serrulata* dengan *Enhalus acoroides* dan memiliki perbedaan yang signifikan dengan *Thalassia hemprichii*, *Halodule uninervis*, dan *Syringodium isoetifolium*. Jenis *Enhalus acoroides* tidak berbeda signifikan dengan *Cymodocea serrulata*, dan memiliki perbedaan yang signifikan dengan *Thalassia hemprichii*, *Halodule uninervis*, *Syringodium isoetifolium*. Jenis *Thalassia hemprichii* menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, *Halodule uninervis*, dan *Syringodium isoetifolium*.

Tabel 1. Uji ANOVA reflektansi spektral lamun di Pulau Pramuka, Panggang dan Karya  
 Table 1. ANOVA test of seagrass spectral reflectance in Pramuka, Panggang and Karya Island

Source of Variation	SS	df	MS	F	F crit
Between Groups	1,266265	4	0,316566	571,419874	2,3754873
Within Groups	1,384999	2500	0,000554		
Total	2,651264	2504			

Sumber: Hasil pengolahan

Tabel 2. Uji ANOVA reflektansi spektral lamun di Pulau Lancang  
 Table 2. ANOVA test of seagrass spectral reflectance in Lancang Island

Source of Variation	SS	df	MS	F	F crit
Between Groups	0,022834	3	0,007611	35,216772	2,609352
Within Groups	0,432262	2000	0,000216		
Total	0,455096	2003			

Sumber: Hasil pengolahan

Jenis *Halodule uninervis* menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, dan *Syringodium isoetifolium*. Lamun jenis *Syringodium isoetifolium* menunjukkan hasil yang berbeda signifikan terhadap jenis *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, dan *Halodule uninervis*.

Hasil uji Tukey reflektansi spektral lamun di Pulau Lancang (Tabel 4) menunjukkan tidak berbeda signifikan antara jenis *Cymodocea serrulata* dengan *Enhalus acoroides* dan memiliki perbedaan yang signifikan dengan *Thalassia hemprichii* dan *Syringodium isoetifolium*. Jenis *Enhalus acoroides* tidak berbeda signifikan dengan *Cymodocea rotundata* dan memiliki perbedaan yang signifikan dengan *Thalassia*

Tabel 3. Uji Tukey reflektansi spektral lamun di Pulau Pramuka, Panggang dan Karya  
 Table 3. Tukey test for seagrass spectral reflectance in Pramuka, Panggang and Karya Island

	Jenis	Signifikan (alpha 0,05)	
Tukey HSD	<i>Cymodocea serrulata</i>	<i>Enhalus acoroides</i>	0,547
		<i>Thalassia hemprichii</i>	0,000*
		<i>Halodule uninervis</i>	0,000*
		<i>Syringodium isoetifolium</i>	0,000*
	<i>Enhalus acoroides</i>	<i>Cymodocea serrulata</i>	0,547
		<i>Thalassia hemprichii</i>	0,038*
		<i>Halodule uninervis</i>	0,000*
		<i>Syringodium isoetifolium</i>	0,000*
	<i>Thalassia hemprichii</i>	<i>Cymodocea serrulata</i>	0,000*
		<i>Enhalus acoroides</i>	0,038*
		<i>Halodule uninervis</i>	0,001*
		<i>Syringodium isoetifolium</i>	0,000*
	<i>Halodule uninervis</i>	<i>Cymodocea serrulata</i>	0,000*
		<i>Enhalus acoroides</i>	0,000*
		<i>Thalassia hemprichii</i>	0,001*
		<i>Syringodium isoetifolium</i>	0,000*
<i>Syringodium isoetifolium</i>	<i>Cymodocea serrulata</i>	0,000*	
	<i>Enhalus acoroides</i>	0,000*	
	<i>Thalassia hemprichii</i>	0,000*	
	<i>Halodule uninervis</i>	0,002*	

\*berbeda signifikan antar spesies

Sumber : Hasil pengolahan

Tabel 4. Uji Tukey reflektansi spektral lamun di Pulau Lancang  
 Table 4. Tukey test for seagrass spectral reflectance in Lancang Island

Jenis		Signifikan (alpha 0.05)
Tukey HSD	<i>Cymodocea serrulata</i>	<i>Enhalus acoroides</i> 0,233
		<i>Syringodium isoetifolium</i> 0,004*
		<i>Thalassia hemprichii</i> 0,000*
<i>Enhalus acoroides</i>	<i>Cymodocea serrulata</i>	0,233
		<i>Syringodium isoetifolium</i> 0,000*
		<i>Thalassia hemprichii</i> 0,000*
<i>Syringodium isoetifolium</i>	<i>Cymodocea serrulata</i>	0,004*
		<i>Enhalus acoroides</i> 0,000*
		<i>Thalassia hemprichii</i> 0,000*
<i>Thalassia hemprichii</i>	<i>Cymodocea serrulata</i>	0,000*
		<i>Enhalus acoroides</i> 0,000*
		<i>Syringodium isoetifolium</i> 0,000*

\*berbeda signifikan antar spesies Sumber: Hasil pengolahan

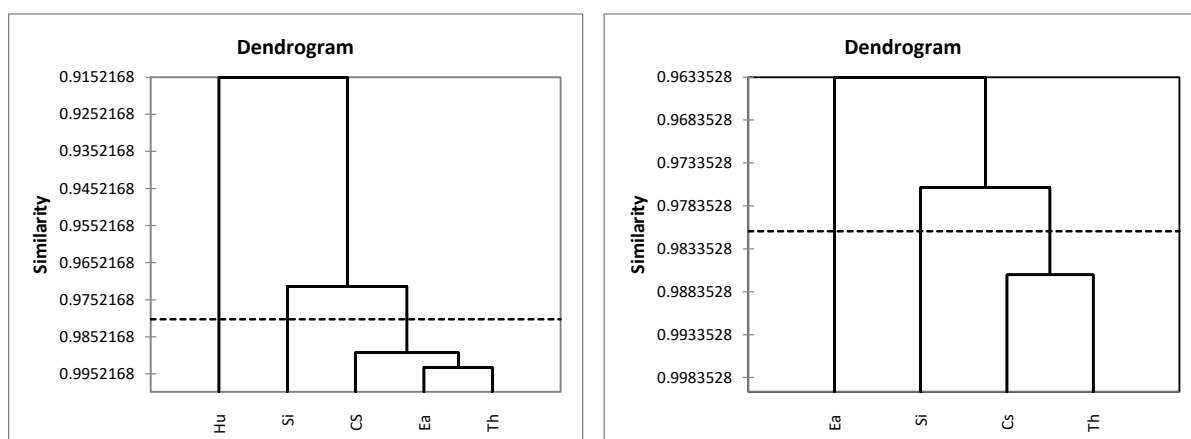
*hemprichii*, dan *Syringodium isoetifolium*. Lamun jenis *Syringodium isoetifolium* menunjukkan hasil yang berbeda signifikan terhadap jenis *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, dan *Thalassia hemprichii*. Jenis *Thalassia hemprichii* menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, dan *Syringodium isoetifolium*.

Dari semua jenis lamun di dua lokasi penelitian berbeda signifikan berdasarkan nilai reflektansinya kecuali jenis *Cymodocea serrulata* dengan *Enhalus acoroides*. Secara umum ke semua jenis memiliki perbedaan nilai, hal ini diduga karena dipengaruhi oleh morfologi daun lamun dan variasi pigmen daun. Daun lamun merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai reflektansi karena sebagian energi

yang dipantulkan berasal dari daun sehingga perbedaan morfologi daun sangat mempengaruhi reflektansi (Durako, 2007; Aziizah *et al.* 2015). Selanjutnya Wicaksono *et al.* (2017) dalam penelitian spektral lamun di Taman Nasional Karimun Jawa menunjukkan analisis uji Tukey bahwa sebagian besar spesies lamun memiliki perbedaan spektrum secara signifikan.

#### Analisis Pengelompokan Nilai Reflektansi

Input data yang digunakan pada analisis pengelompokan adalah menggunakan nilai reflektansi secara keseluruhan pada panjang gelombang 400 - 900 nm dengan interval 1 nm. Analisis pengelompokan berdasarkan panjang gelombang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengelompokan reflektansi spektral lamun Cs (*Cymodocea serrulata*), Th (*Thalassia hemprichii*), Ea (*Enhalus acoroides*), Hu (*Halodule uninervis*) dan Si (*Syringodium isoetifolium*) (a) Pulau Pramuka, Panggang dan Karya, (b) Pulau Lancang.

Figure 4. Dendrogram spectral reflectance of seagrass Cs (*Cymodocea serrulata*), Th (*Thalassia hemprichii*), Ea (*Enhalus acoroides*), Hu (*Halodule uninervis*) and Si (*Syringodium isoetifolium*). (a) Pramuka, Panggang and Karya Island, (b) Lancang Island.

(Sumber: Hasil pengolahan)



Hasil pengelompokan lima jenis lamun di lokasi Pulau Pramuka, Panggang dan Karya (Gambar 4a) membentuk tiga kelompok. Kelompok pertama terdiri dari lamun jenis *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, dan *Thalassia hemprichii*. Kelompok kedua hanya terdiri dari satu jenis lamun yaitu *Halodule uninervis*. Kelompok ketiga terdiri dari satu jenis lamun yaitu *Syringodium isoetifolium*. Selanjutnya hasil pengelompokan empat jenis lamun di lokasi Pulau Lancang (Gambar 4b) membentuk tiga kelompok. Kelompok pertama terdiri dari lamun jenis *Cymodocea serrulata* dan *Thalassia hemprichii*. Kelompok kedua hanya terdiri dari satu jenis lamun yaitu *Enhalus acoroides*. Kelompok ketiga terdiri dari satu jenis lamun yaitu *Syringodium isoetifolium*.

Berdasarkan pengelompokan lamun di dua lokasi penelitian jenis lamun *Syringodium isoetifolium* membentuk kelompok sendiri. Berdasarkan bentuk morfologi daun yang dilihat di lapangan jenis *Syringodium isoetifolium* memiliki bentuk daun seperti silinder/lidi, sedangkan jenis *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, dan *Halodule uninervis* memiliki penampang daun yang lebih besar dengan lebar.

#### Analisis Diskriminan Reflektansi Lamun

Input data yang digunakan pada analisis diskriminan adalah menggunakan nilai reflektansi secara keseluruhan pada panjang gelombang 400 - 900 nm dengan interval 1 nm. Analisis diskriminan menghasilkan fungsi diskriminan. Analisis diskriminan menggunakan data spektral dari berbagai spektrum warna, pembagian spektrum warna didasarkan pada sinar tampak dengan mengacu pada buku Ocean Optics 2007. Adapun spektrum warna yang digunakan untuk analisis adalah panjang gelombang ungu (400 - 450 nm), panjang gelombang biru langit (450 - 480 nm), panjang gelombang biru (480 - 510 nm), panjang gelombang hijau (510 - 550 nm), panjang gelombang hijau kuning (550 - 575 nm), panjang gelombang kuning (575 - 585 nm), panjang gelombang orange (585 - 620 nm), panjang gelombang merah (620 - 700 nm), panjang gelombang merah tepi (700 - 750 nm), dan panjang gelombang inframerah dekat (750 - 900 nm). Hasil dari analisis diskriminan menghasilkan fungsi diskriminan dari berbagai spektrum warna.

Persamaan fungsi diskriminan yang dihasilkan akan memberikan peramalan yang paling tepat untuk mengklasifikasi suatu individu kedalam kelompok berdasarkan prediksi. D merupakan fungsi yang mampu mengklasifikasikan suatu jenis lamun kedalam

suatu kelompok panjang gelombang. Fungsi ini digunakan untuk mengklasifikasikan nilai reflektansi akan masuk ke dalam suatu kelompok spektrum sinar tampak. Adapun fungsi persamaannya sebagai berikut:

$$D1 = -8,15 (Sbl) + 8,25 (Sb) + 4,43 (Shk) - 14,97 (Sk) + 10,75 (So)$$

$$D2 = -5,57 (Sbl) + 4,73 (Sb) - 8,16 (Shk) + 18,17 (Sk) - 9,18 (So)$$

$$D3 = 7,63 (Sbl) - 9,05 (Sb) + 7,46 (Shk) - 10,43 (Sk) + 4,520 (So)$$

$$D4 = 11,44 (Sbl) - 11,26 (Sb) + 3,8975 (Shk) - 3,26 (Sk) + 0,39 (So)$$

(b) Pulau Lancang

$$D1 = 5,370 (Sb) - 9,66 (Sh) + 4,47 (Shk)$$

$$D2 = 1,42 (Sb) - 5,99 (Sh) + 5,32 (Shk)$$

$$D3 = -0,24 (Sb) + 4,15 (Sh) - 3,179 (Shk)$$

Keterangan :

Sbl = panjang gelombang biru langit (450-480 nm)

Sb = panjang gelombang biru (480-510 nm)

Shk = panjang gelombang hijau kuning (550-575 nm)

Sk = panjang gelombang kuning (575-585 nm)

So = panjang gelombang orange (585-620 nm)

Korelasi antara spektral pada setiap panjang gelombang dengan masing-masing fungsi diskriminan disusun dalam sebuah struktur matriks. Korelasi setiap spektrum panjang gelombang dengan masing-masing fungsi diskriminan disusun dalam sebuah struktur matriks (Tabel 5 dan Tabel 6).

Berdasarkan hasil fungsi diskriminan pada 5 jenis lamun di lokasi Pulau Pramuka, Panggang dan Karya (Tabel 5) menunjukkan bahwa fungsi pertama (D1) dapat menjelaskan keragaman dari 5 jenis lamun dengan keragaman 53,4%. Panjang gelombang orange (585 - 620 nm) merupakan panjang gelombang yang dapat mendiskriminasi spektral 5 jenis lamun secara jelas karena memiliki nilai keragaman tertinggi dibandingkan dengan fungsi diskriminan lainnya. Fungsi diskriminan yang kedua (D2) memiliki persen keragaman 37,2% yang berkorelasi kuat pada panjang gelombang kuning (575 - 585 nm) dan hijau kuning (550 - 575 nm). Berdasarkan hasil fungsi diskriminan, secara berurutan pada panjang gelombang orange (585 - 620 nm), kuning (575 - 585 nm) dan hijau kuning (550 - 575 nm) merupakan variabel yang dapat mendiskriminasi seluruh spektral antar spesies.

Berdasarkan hasil fungsi diskriminan pada 4 jenis lamun di lokasi Pulau Lancang (Tabel 6) menunjukkan

Tabel 5. Korelasi spektrum panjang gelombang dengan fungsi diskriminan di Pulau Pramuka, Panggang dan Karya  
 Table 5. Correlation of wavelength spectrum with discriminant function in Pramuka, Panggang and Karya Island

Panjang gelombang (nm)	Fungsi diskriminan (D*)			
	D1	D2	D3	D4
Biru Langit (450-480 nm)	0,292	0,153	-0,497	0,801*
Biru (480-510 nm)	0,328	0,215	-0,469	0,788*
Kuning (575-585 nm)	0,459	0,534*	-0,095	0,703*
Hijau Kuning (550-575 nm)	0,420	0,573*	0,041	0,698*
Orange (585-620 nm)	0,530*	0,458	-0,165	0,694*

Sumber: Hasil pengolahan

Tabel 5. Korelasi spektrum panjang gelombang dengan fungsi diskriminan di Pulau Pramuka, Panggang dan Karya  
 Table 5. Correlation of wavelength spectrum with discriminant function in Pramuka, Panggang and Karya Island

Panjang gelombang (nm)	Fungsi diskriminan (D*)		
	D1	D2	D3
Hijau Kuning (550-575 nm)	-0,16*	0,724*	0,670
Biru (480-510 nm)	0,109	0,441	0,891*
Hijau (510-550 nm)	-0,118*	0,580*	0,806*

Sumber: Hasil pengolahan

bahwa fungsi pertama (D1) dapat menjelaskan keragaman dari 4 jenis lamun dengan keragaman 91,4% panjang gelombang hijau kuning (550 - 575 nm) dan hijau (510 - 550 nm) merupakan panjang gelombang yang dapat mendiskriminasi spektral 4 jenis lamun secara jelas karena memiliki nilai keragaman tertinggi dibandingkan dengan fungsi diskriminan lainnya. Fungsi diskriminan yang kedua (D2) memiliki persen keragaman 8,1 % yang berkorelasi kuat pada panjang gelombang hijau kuning (550 - 575 nm) dan hijau (510 - 550 nm). Berdasarkan hasil fungsi diskriminan, secara berurut pada panjang gelombang hijau kuning (550 - 575 nm) dan hijau (510 - 550 nm) merupakan variabel yang dapat mendiskriminasi seluruh spektral antar spesies.

Dari kedua lokasi penelitian terlihat panjang gelombang orange (585 - 620 nm), kuning (575 - 585 nm), hijau kuning (550 - 575 nm), dan hijau (510 - 550 nm) merupakan panjang gelombang yang dapat digunakan untuk mendiskriminasi dan memetakan lamun. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Fyfe (2003), yang menyatakan bahwa panjang gelombang yang optimal untuk mendiskriminasi dan memetakan habitat lamun berada antara 500 - 630 nm. Menurut Fyfe (2004), rentang panjang gelombang 588 - 602 nm, sangat penting untuk mendiskriminasi spesies lamun *P. australis* pada setiap musim yang berbeda dan panjang gelombang 550 - 570 nm mendiskriminasi spesies lamun *Zostera capricorni*. Selanjutnya Alkhatlan *et al.* (2018) panjang gelombang hijau berkinerja lebih

baik untuk diskriminasi kelas lamun.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengukuran reflektansi spektral lamun menunjukkan adanya kemiripan pola reflektansi spektral namun memiliki nilai reflektansi yang berbeda. Reflektansi spektral lamun memiliki puncak (*peak*) yang berbeda pada panjang gelombang 500 - 600 nm (panjang gelombang hijau), 700 - 750 nm (panjang gelombang merah tepi) dan 800 - 850 nm (panjang gelombang inframerah dekat). Uji ANOVA pada besaran reflektansi memberikan hasil berbeda nyata antar jenis lamun, dan uji Tukey menunjukkan perbedaan signifikan antar jenis lamun. Dari Uji Tukey kesemua jenis lamun di dua lokasi penelitian berbeda signifikan berdasarkan nilai reflektansinya kecuali jenis *Cymodocea serrulata* dengan *Enhalus acoroides*. Pengelompokan lima jenis lamun di lokasi Pulau Pramuka, Panggang dan Karya membentuk tiga kelompok. Kelompok pertama terdiri dari lamun jenis *Cymodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, dan *Thalassia hemprichii*. Kelompok kedua hanya terdiri dari satu jenis lamun yaitu *Halodule uninervis*. Kelompok ketiga terdiri dari satu jenis lamun yaitu dan *Syringodium isoetifolium*. Pengelompokan empat jenis lamun di lokasi Pulau Lancang membentuk tiga kelompok. Kelompok pertama terdiri dari lamun jenis *Cymodocea serrulata* dan *Thalassia hemprichii*. Kelompok kedua hanya terdiri dari satu jenis lamun yaitu *Enhalus acoroides*. Kelompok ketiga terdiri dari satu jenis lamun yaitu *Syringodium isoetifolium*.

Berdasarkan pengelompokan lamun di dua lokasi penelitian jenis lamun *Syringodium isoetifolium* membentuk kelompok sendiri.

Hasil analisis diskriminan panjang gelombang orange (585 - 620 nm), kuning (575 - 585 nm), hijau kuning (550 - 575 nm), dan hijau (510 - 550 nm) merupakan panjang gelombang yang dapat digunakan untuk mendiskriminasi dan memetakan lamun

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LAPAN (Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional), Taman Nasional Kepulauan Seribu atas bantuan alat dan fasilitas selama proses pengambilan data lapangan, serta teman-teman yang telah ikut membantu untuk pengambilan data lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, N. N., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2015). Analisis reflektansi spektral lamun menggunakan spektrometer di Pulau Tunda Serang Banten. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(2), 199-208. DOI: <https://doi.org/10.24319/jtpk.6.199-208>
- Bargain, A., Robin, M., Le Men, E., Huete, A., & Barille. (2012). Spectral response of the seagrass *Zostera noltii* with different sediment backgrounds. *Aquatic Botany*, 98(1), 45-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2011.12.009>
- Call, K. A., Hardy, J. T., & Wallin, D. O. (2003). Coral reef habitat discrimination using multivariate spectral analysis and satellite remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 24(13), 2627-2639. DOI: <https://doi.org/10.1080/0143116031000066990>
- Dekker, A., Brando, V., Anstee, J., Fyfe, S. K., Malthus, T., & Karpouzli, E. (2006). *Remote Sensing of Seagrass Systems: Use of Spaceborne and Airborne Systems*. In A. W. D. Larkum, R. J. Orth, & C. M. Duarte (Eds). *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, 347-359. Dordrecht: Springer
- Duarte, C. M., Marbà, N., Gacia, E., Fourqurean, J. W., Beggins J., Barrón, C., & Apostolaki, E. T. (2010). Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(4), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1029/2010GB003793>
- Durako, M. J. (2007). Leaf optical properties and photosynthetic leaf absorptances in several Australian seagrasses. *Aquatic Botany*, 87(1), 83-89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.03.005>
- Fitrian, T., Kusnadi, A., & Persillette, R. N. (2017). Seagrass community structure of Tayando-Tam Island, Southeast Moluccas, Indonesia. *Biodiversitas*, 18(2), 788-794.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D., & McGlathery, K.J. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5(7), 505-509. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo1477>
- Fyfe, S. K. (2003). Spatial and temporal variation in spectral reflectance: Are seagrass species spectrally distinct?. *Limnology and Oceanography*, 48(2), 464-479. DOI: [https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1\\_part\\_2.0464](https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0464)
- Fyfe, S. K. (2004). *Hyperspectral studies of New South Wales seagrass with particular emphasis on detection of light stress in Eelgrass *Zostera capricorni**. PhD Thesis. School of Earth and Environmental Sciences: University of Wollongong.
- Giardino, C., Brando, V. E., Gege, P., Pinnel, N., Hocberg, E., Knaeps, E., Reusen, I., Doerffer, R., Bresciani, M., Braga, F., Foerster, S., Champollion, N., & Dekker, A. (2019). Imaging Spectrometry of Inland and Coastal Waters: State of the Art, Achievements and Perspectives. *Surveys in Geophysics*, 40, 401-429. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9476-0>
- Hemminga, M. A., & Duarte, C. M. (2000). *Seagrass ecology*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Holden, H., & LeDrew, E. (2001). Effects of the water column on hyperspectral reflectance of submerged coral reef features. *Bulletin of Marine Science*, 69(2), 685-699.

- Hochberg, E. J., Atkinson, M. J., Apprill, A., & Andréfouët, S. (2004). Spectral reflectance of coral. *Coral Reefs*, 23(1), 84–95. DOI:https://doi.org/10.1007/s00338-003-0350-1
- Hwang, C., Chang, C. H., Burch, M., Fernandes, M., & Kildea, T. (2019). Effects of epiphytes and depth on seagrass spectral profiles: case study of Gulf St. Vincent, South Australia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(15), 2701. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph16152701
- Isnaen, Z., Kamal, M., & Kusuma, D. W. (2019). Comparison of object spectral reflectance from WorldView-2 image and field measurement. *Proceedings SPIE 11372, Sixth International Symposium on LAPAN-IPB Satellite*, 113721U. Bogor-Indonesia : LAPAN-IPB.
- Jackson, R. D., Pinter, P. J., Reginato, R. J., & Idso, S. B. (1980). *Hand-held radiometry: a set of notes developed for use at the workshop on hand-held radiometry*. United States : Department of Agriculture Science and Education Administration.
- Karpouzli, E., Malthus, T. J., & Place, C. J. (2004). Hyperspectral discrimination of coral reef benthic communities in the western Caribbean. *Coral Reefs*, 23(1), 141-151. DOI:https://doi.org/10.1007/s00338-003-0363-9
- Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Holmer, M., Marbà, N., & Middelburg, J. J. (2010). Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(4), GB4026.
- Laffoley, D., & Grimsditch, G. (2009). *The management of natural coastal carbon sinks*. Switzerland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Leiper, I., Phinn, S., & Dekker, A. A. (2012). Spectral reflectance of coral reef benthos and substrate assemblages on Heron Reef Australia. *International Journal of Remote Sensing*, 33(12), 3946-3965. DOI:https://doi.org/10.1080/01431161.2011.637675
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman J. (2004). Remote sensing and image interpretation. United States : United States of America John Wiley & Sons.
- Louchard, E. M., Reid, R. P., Stephens, F. C., Curtis, O. D., Leathers, R. A., & Downes, T. V. (2003). Optical remote sensing of benthic habitats and bathymetry in coastal environments at Lee Stocking Island, Bahamas: A comparative spectral classification approach. *Limnology and Oceanography*, 44(1), 511-521. DOI: https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1\_part\_2.0511
- Mathews, J. H., & Fink, K. D. (2004). Numerical methods using matlab. Prentice hall : Upper Saddle River.
- Mattjik., A. A., & Sumertajaya, I. M. (2011). *Sidik perubahan ganda dengan menggunakan SAS*. Institut Pertanian Bogor : IPB Press.
- McKenzie, L. C., Campbell, S. J., & Roder, C. A. (2003). Seagrass Watch : Manual for mapping & monitoring seagrass resources by community (citizen) volunteers 2nd edition. Cairns-Queensland (QLD): Northern Fisheries Centre.
- Nadiarti, Riani, E., Djuwita, I., Budiharsono, S., Purbayanto, A., & Asmus, H. (2012). Challenging for seagrass management in Indonesia. *Journal of Coastal Development*, 15(3), 234-242.
- Orth, R. J., Carruthers, T. J., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck-JR, K., Hughes, A., Kendrick, G., Kenworthy, W. J., Olyarnik, S., Short, F., Waycott, M., & Williams, S. (2006). A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience*, 56(12), 987-996. DOI: https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2
- Pu, R., Bell, S., Baggett, L., Meyer, C., & Zhao Y. (2012). Discrimination of seagrass species and cover classes with in situ hyperspectral data. *Journal of Coastal Research*, 28(6), 1330-1344.
- Purkis, S. J., & Pasterkamp, R. (2004). Integrating in situ reef-top reflectance spectra with Landsat TM imagery to aid shallow-tropical benthic habitat mapping. *Coral Reefs*, 23, 5-20. DOI:https://doi.org/10.1007/s00338-003-0351-0
- Sidike, P., Asari V. K., & Alam, S. A. (2015). Multiple object detection in hyperspectral imagery

using spectral fringe-adjusted joint transform correlator. *Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE, 9405, 940502-1-940502-7*. Ohio : University of Dayton.

Supranto, J. (2004). Analisis multivariat : arti dan interpretasi. Jakarta : Rineka Cipta.

Suwandana, E., Kawamura, K., Sakuno, Y., Evri, M., & Lesmana, A. H. (2012). Hyperspectral reflectance response of seagrass (*Enhalus acoroides*) and brown algae (*Sargassum* sp.) to nutrient enrichment at laboratory scale. *Journal of Coastal Research, 28*(94), 956-963. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00222.1>

Thorhaug, A., Richardson, A. D., & Berlyn, G. P. (2007). Spectral reflectance of the seagrasses: *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme* and five marine algae. *International Journal of Remote Sensing, 28*(7), 1487-1501. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160600954662>

Wicaksono, P., & Kamal, M. (2017). Spectral response of healthy and damaged leaves of tropical seagrass *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, and *Cymodocea rotundata*. *Proceedings SPIE 10421, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIX, 104210L*. Warsaw-Polandia : SPIE Remote Sensing.

Wicaksono, P., Kumara, I. S. W., Kamal, M., Fauzan, M. A., Zhafarina, Z., Nurswantoro, D. A., & Yogyantoro, R. N. (2017). Multispectral resampling of seagrass species spectra: WorldView-2, Quickbird, Sentinel-2A, ASTER VNIR, and Landsat 8 OLI. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 98, 012039*.

Wicaksono, P., Fauzan, M.A., Kumara, I. S. W., Yogyantoro, R. N., Lazuardi, W., & Zhafarina, Z. (2019). Analysis of reflectance spectra of tropical seagrass species and their value for mapping using multispectral satellite images. *International Journal of Remote Sensing, 40*, 8955-8978. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1624866>

