

HUBUNGAN KONSTANTA ATENUASI DENGAN KONSTITUEN AIR PADA PERAIRAN PELABUHAN KARIMUNJAWA

Muhammad Ulin Nuha^{1*}, Abdul Basith¹, Wikanti Asriningrum², Gathot Winarso², Kuncoro Teguh Setiawan²

¹Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No. 2, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

²Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Jalan Kalisari No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710

*e-mail: muhammadulinuha@mail.ugm.ac.id

(Diterima 15 Mei 2019, Disetujui 30 Juni 2019)

ABSTRAK

Satellite derived bathymetry (SDB) atau yang dikenal di Indonesia sebagai batimetri berbasis satelit merupakan salah satu teknik dalam penginderaan jauh untuk ekstraksi kedalaman laut dengan memanfaatkan citra optik. Data masukan berupa nilai spektral dari objek kolom air dibutuhkan untuk proses SDB. Salah satu metode SDB yaitu metode analitis membutuhkan data spektral lapangan, konstanta atenuasi air, dan konstituen air untuk proses estimasi kedalaman. Data spektral dan atenuasi diakuisisi dengan alat spektrometer TriOS Ramses spektrometer. Data konstituen air diambil dari sampel air yang disaring untuk dilakukan pengujian. Konstituen air yang diuji berupa *chlorophyll*, CDOM, TSS, dan TOM. Nilai kedalaman ekstraksi batimetri sangat dipengaruhi oleh perilaku penetrasi cahaya. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi konstituen air. Konstituen air memengaruhi atenuasi air sebuah perairan. Penelitian memberikan hasil dari 4 stasiun pengukuran atenuasi memiliki korelasi positif dengan konstituen *chlorophyll*. *Chlorophyll* memiliki korelasi positif dengan konstituen yang lain (TOM, CDOM, dan TSS). Dari nilai atenuasi air, perairan sekitar Pelabuhan Karimunjawa merupakan jenis perairan jernih dengan tipe III dan 1 yang memiliki nilai $K_d(\text{PAR})$ adalah 0.111 m^{-1} .

Kata Kunci : Pengukuran Lapangan, TriOS-RAMSES, Atenuasi Air, Konstituen Air, Kelas Perairan

ABSTRACT

Satellite derived bathymetry (SDB) is one of techniques in remote sensing for extraction of ocean depth by utilizing optical imagery. Spectral data from the water column is needed for SDB process. One of SDB method is an analytical method requiring field spectral data, water attenuation, and water constituents for depth estimation processes. Spectral data and attenuation were acquired by TriOS Ramses spectrometer. Water constituents are taken from filtered water samples to be tested at laboratory. The water constituents tested were chlorophyll, CDOM, TSS, and TOM. The depth value of bathymetry extraction is strongly influenced by light penetration behavior. This is influenced by the condition of water constituents. Water constituents affect attenuation of water. The study give results from 4 stations of attenuation measurement having a positive correlation with chlorophyll constituents. Chlorophyll has a positive correlation with other constituents (TOM, CDOM, and TSS). From the value of water attenuation, the water classification around Karimunjawa Port are clear water of type III and 1 which have a value of $K_d(\text{PAR})$ is 0.111 m^{-1} .

Keywords : Insitu Measurement, TriOS-RAMSES, Water Attenuation, Water Constituent, Water Classification

1. PENDAHULUAN

SDB merupakan teknik dalam penginderaan jauh untuk proses ekstraksi nilai kedalaman laut dari citra satelit optik yang dikembangkan pada akhir 1970-an. Kemajuan teknologi satelit baru-baru ini, seperti peningkatan resolusi dan band multispektral telah meningkatkan potensinya

sebagai sumber data hidrografi (UKHO, 2015). SDB didasarkan pada warna *deep water* yang tampak lebih gelap dibandingkan dengan warna pada *shallow water* di data rekaman citra satelit. Perhitungan kedalaman dengan SDB dapat menggunakan metode empiris seperti yang dikembangkan oleh Lyzenga pada 1978 dan metode analitis seperti yang ditulis oleh Gao pada

2009 tentang metode SDB. Citra SPOT 6/7, WorldView-2, dan Pleiades merupakan citra satelit resolusi tinggi yang telah digunakan dalam teknik SDB.

Model analitis dalam SDB merupakan salah satu model ekstraksi kedalaman dengan citra satelit optik. Metode analitis didasarkan pada cara perambatan cahaya dalam air. Pembentukan model ini memerlukan masukan sejumlah sifat optik air dan kondisi atmosfer saat cahaya dirambatkan, seperti koefisien atenuasi dan *backscattering* (Gao, 2009). Pemanfaatan untuk SDB, sifat optis air dilakukan pengukuran di lapangan untuk mengetahui hubungan kondisi sifat optis air di lapangan dan di citra satelit (Lafon dkk., 2002). Sifat optis air berbeda untuk setiap perairan karena bergantung pada komposisi, morfologi, dan konsentrasi zat partikulat pada sebuah perairan (Mobley, 1994; Lavender, 1996).

Koefisien atenuasi air merupakan *Apparent Optical Properties* (AOP) yang menunjukkan kuatitas cahaya terserap terhadap perubahan kedalaman di air (Mobley, 1994; Lee dkk., 2005; Simon dan Shanmugam, 2013). Koefisien atenuasi air dapat digunakan untuk menentukan tipe perairan, proses fotosintesis dan biologi di kolom air (Simon dan Shanmugam, 2013). Konstanta atenuasi air merupakan parameter kritis untuk estimasi tingkat akurasi intensitas cahaya pada kedalaman (Lee dkk., 2005). Koefisien atenuasi dapat digunakan untuk parameter kalibrasi dan studi terkait kelautan (Lafon dkk., 2002; Lee dkk., 2005; McKinna dkk., 2015). Kuantitas cahaya yang mengalami atenuasi setara dengan jumlah cahaya yang diserap dan dihamburkan (Mobley, 1994). Pengetahuan tentang atenuasi air dapat dimanfaatkan untuk mengetahui klasifikasi jenis perairan (Jerlov, 1976). Nilai Atenuasi air dipengaruhi oleh konstituen air seperti *chlorophyll*, *Total Suspended Solid*, dan *Color Dissolved Organic Matter* (Devlin dkk., 2009). Pengaruh dari konstituen air dapat menyebabkan pengaruh terhadap proses penyerapan dan penghamburan sehingga memengaruhi proses penetrasi cahaya terhadap kolom air (Kowalczuk dkk., 2006; Jaud dkk., 2012; Prasetyo dkk., 2017). Hal tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi kualitas dari batimetri berbasis satelit terkait dengan pengaruh penetrasi cahaya terhadap perairan (Lafon dkk., 2002).

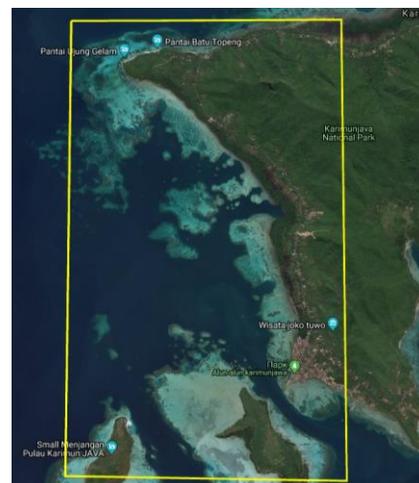
Penelitian ini ditunjukkan untuk mengestimasi hubungan kontanta atenuasi air dengan konstituen air yang selanjutnya digunakan dalam proses analisis untuk SDB metode analitis yang sedang

dikembangkan. Nilai konstituen air memiliki pengaruh untuk proses pelemahan gelombang saat proses penetrasi ke kolom air. Hal tersebut dapat memengaruhi nilai pantulan permukaan yang direkam oleh sensor spektrometer dan sensor satelit. Ketelitian hasil SDB dapat dipengaruhi oleh kondisi atenuasi air dan hubungannya dengan konstituen air pada sebuah perairan

2. Metodologi

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di daerah perairan pelabuhan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Karimunjawa dipilih karena merupakan daerah perairan yang bercirikan *shallow*. Hal tersebut digunakan untuk mendukung penelitian terkait dengan SDB yang sedang dikerjakan. Pengukuran lapangan dilakukan selama tiga hari pada tanggal 20 Maret s.d. 22 Maret 2019 dengan fokus area dekat dengan perairan Pelabuhan Karimunjawa. Pengukuran yang dilakukan terkait dengan batimetri dan rekaman data spektral. Penelitian ini merupakan bagian penelitian besar batimetri berbasis satelit metode analitis dengan tujuan akhir berupa model batimetri berbasis satelit model semi-analitis. Lokasi penelitian merupakan daerah perairan dangkal dengan kedalaman antara 0m sampai 30m (berdasarkan hasil dari pengukuran batimetri pada lokasi dekat dengan pelabuhan). Gambar 1 merupakan lokasi fokus penelitian yang dilaksanakan di Karimunjawa. Lokasi fokus penelitian ditunjukkan pada kotak batas berwarna kuning pada Gambar 1.



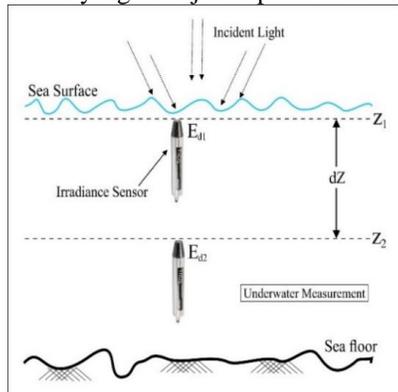
Gambar 1. Screenshot citra google earth lokasi penelitian

Batas berwarna kuning merupakan cakupan dari citra satelit yang dimanfaatkan dalam penelitian besar batimetri berbasis satelit. Hasil

analisis dari penelitian ini digunakan untuk analisis pengembangan metode SDB model analitis menggunakan citra Worldview-3 dengan model koreksi atmosfer yang digunakan adalah *Atmospheric Compensation* (Smith, 2015; Pacifici, 2016) yang diminta saat pembelian citra di Digital Globe.

2.2 Pengukuran Atenuasi Air

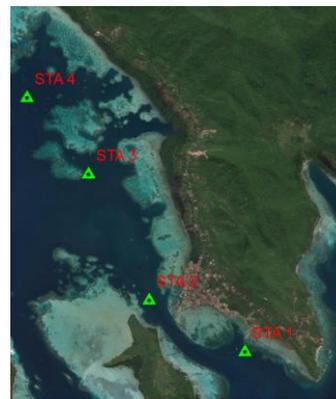
Atenuasi air diukur dengan menggunakan alat TriOS Ramses Spektrometer. TriOS Ramses Spektrometer terdiri dari 3 bagian alat yaitu ARC VIS (SAM_846A) untuk pengukuran *upwelling radiance* ($L_u(\lambda)$), ARC VIS (SAM_846B) untuk pengukuran *sky radiance* ($L_{sky}(\lambda)$), dan ACC-2 VIS (SAM_8469) untuk pengukuran *downwelling irradiance* ($E_d(\lambda)$) (<https://www.trios.de/>). Pengukuran dilakukan di lokasi yang mewakili perairan jernih dan perairan keruh dengan penentuan keruh dan jernih menggunakan pengamatan visual di lapangan. Teknik pengukuran yang dilakukan mengacu metode yang dilakukan oleh Lafon dkk. (2002) dengan modifikasi sesuai dari alat yang digunakan yaitu dengan kemampuan alat spektrometer dapat dilakukan penenggelaman terhadap kedalaman tertentu. Berikut ilustrasi pengukuran yang dilakukan Lafon dkk. (2002) dengan konfigurasi pada alat TriOS Ramses Spektrometer yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi pengukuran atenuasi air Diadopsi dari Prasetyo dkk. (2017) Sensor ACC-2 VIS (SAM_8469) dan ARC VIS (SAM_846A) yang dilakukan proses penenggelaman untuk proses pengukuran atenuasi air. Hitungan $K_d(\lambda)$ menggunakan masukan data SAM_8469. Perbedaan nilai $E_d(\lambda)$ pada kedalaman dikuantisasikan dengan rumus (Lafon dkk., 2002, Lee dkk., 2005) :

$$K_d(\lambda) = \frac{\ln E_{d1}(\lambda) - \ln E_{d2}(\lambda)}{z_1 - z_2} \tag{1}$$

$K_d(\lambda)$ merupakan *spectral diffuse attenuation coefficient* untuk *downwelling irradiance* $E_d(\lambda)$ yang diukur terhadap perbedaan kedalaman z_1 dan z_2 . Kode 1 dan 2 adalah pengukuran yang menunjukkan perubahan nilai $E_d(\lambda)$. $E_d(\lambda)$ diukur dengan menentukan perbedaan kedalaman sesuai dengan rumus (1). Terdapat empat lokasi stasiun yang dilakukan pengukuran dengan konfigurasi pengukuran atenuasi air. Empat lokasi dipilih berdasarkan pengalaman peneliti yang dianggap dapat mewakili kondisi perairan. Gambar 3. merupakan hasil *plotting* dari titik stasiun (STA) pengukuran atenuasi air untuk Perairan Pelabuhan Karimunjawa.



Gambar 3. Screenshot Plotting lokasi pengukuran atenuasi air

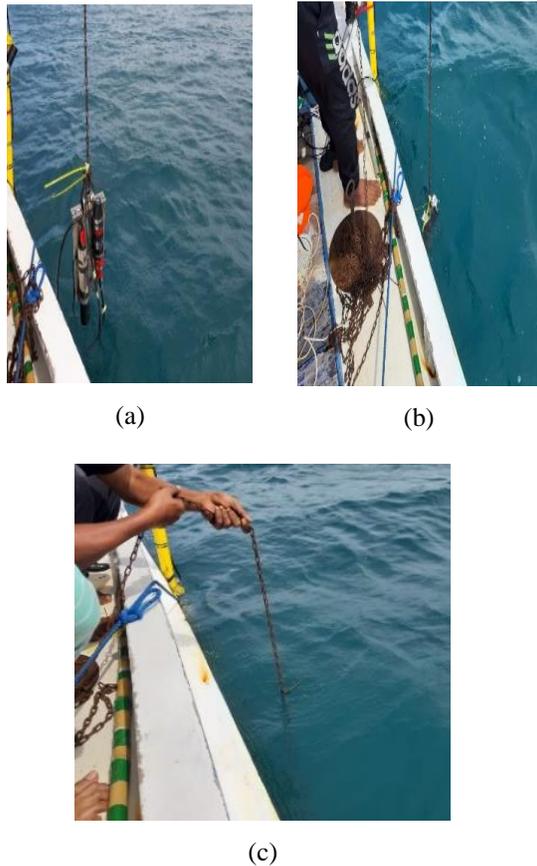
STA 1 dan STA 2 diukur pada daerah dekat pelabuhan yang diasumsikan merupakan perairan yang dianggap keruh karena dekat dengan pelabuhan. STA 3 dan STA 4 diukur pada daerah utara pelabuhan yang diasumsikan merupakan perairan yang jernih karena daerah jauh dari pelabuhan. Tabel 1 merupakan data posisi dari stasiun pengukuran atenuasi air dan asumsi keruh dan jernih dari perairan sekitar stasiun.

Tabel 1. Data posisi stasiun pengukuran

No.	Stasiun	λ (lintang)	ϕ (bujur)	Keterangan
1	STA 1	-5.8857	110.4399	Keruh
2	STA 2	-5.8794	110.4283	Keruh
3	STA 3	-5.8641	110.4209	Jernih
4	STA 4	-5.8641	110.413442	Jernih

Kekeruhan air didasarkan dengan pengamatan visual lapangan. Pengukuran atenuasi air dilakukan dengan menenggelamkan TriOS Ramses

spektrometer pada perbedaan kedalaman 3m. Kerangka yang digunakan untuk penenggelaman alat merupakan kerangka yang sudah didesain untuk dipasangkan dua sensor (lihat Gambar 4). Pendefinisian kedalaman menggunakan rantai ukur barcheck yang sudah ditandai setiap 1m. Gambar 4 menunjukkan proses pengukuran atenuasi air di lapangan.



Gambar 4. Pengukuran Atenuasi Air di STA 1 (a) Kondisi *Above Water*, (b) *Bellow Water* (0m), dan (c) terhadap perbedaan kedalaman 3m

Setiap stasiun pengukuran atenuasi air dilakukan pengambilan sampel air untuk sampel air permukaan. Pengambilan sampel air ditujukan untuk menghitung konstituen air yang terkandung di lokasi pengukuran atenuasi air. Sampel air yang diambil dilakukan penyaringan dengan *whatman filter*. Pengujian dilakukan laboratorium untuk mendapatkan nilai *chlorophyll*, *Total Suspended Solid* (TSS), *Color Dissolved Organic Matter* (CDOM), dan *Total Organic Matter* (TOM). Pengambilan sampel air memanfaatkan botol sampel air dan air diambil menggunakan gayung. Asumsi yang digunakan *chlorophyll* permukaan

dengan kolom air memiliki korelasi yang kuat (Nuzapril dan Panjaitan, 2017). Penyaringan air sampel dilakukan setelah pengambilan sampel dengan menggunakan alat saring khusus. Gambar 5 menunjukkan proses pengambilan sampel air di STA 1.



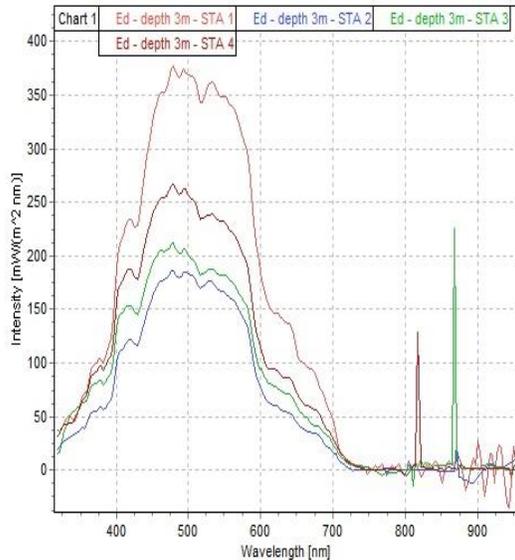
Gambar 5. Pengambilan sampel air di STA 1

Setelah dilakukan perhitungan nilai $K_d(\lambda)$ dan diperoleh nilai hasil pengujian konstituen air dari laboratorium, maka kedua nilai dicari hubungannya untuk perairan Pelabuhan Karimunjawa dengan menggunakan hubungan statistika menggunakan korelasi (Meliani dkk., 2018). Jenis perairan Pelabuhan Karimunjawa ditentukan dari nilai rerata $K_d(\lambda)$ (Saulquin dkk., 2013). Untuk perairan jernih maka nilai $K_d(\text{PAR}) < 0.115 \text{ m}^{-1}$ dan untuk perairan turbid maka nilai $K_d(\text{PAR}) > 0.115 \text{ m}^{-1}$ (Saulquin dkk., 2013).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Atenuasi Air

Pengolahan data spektrometer menggunakan *software* MXDA_XE yang merupakan *software* pengolahan data dari TriOS. Data yang digunakan adalah data *downwelling irradiance* ($E_d(\lambda)$). *Downwelling irradiance* merupakan nilai untuk mendefinisikan properti kolom air terhadap kondisi penetrasi cahaya (Gege dan Pinnel, 2011). Pengukuran disetiap stasiun dilakukan berulang yaitu pengambilan data sampel spektral saat penurunan alat dan pengambilan data sampel spektral saat pengangkatan alat dari air. $E_d(\lambda)$ yang digunakan merupakan nilai rerata dari dua data yang diperoleh. Gambar 6 merupakan salah satu contoh rekaman data E_d pada semua stasiun pengukuran untuk sampel data pertama pada kondisi 3m.



Gambar 6. Plotting data E_d di semua stasiun pada sampel data pertama kondisi 3m

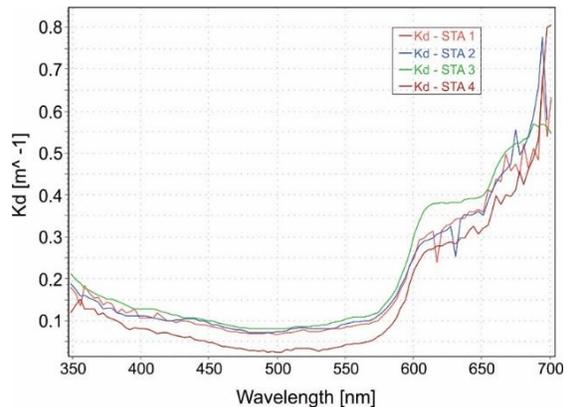
Data E_d memiliki pola yang teratur pada rentang 400 sampai 700 nm. Panjang gelombang untuk rentang di bawah 400 nm dan di atas 700 nm memiliki variasi data yang tinggi. Hal ini disebabkan karena panjang gelombang optimal untuk penetrasi di kolom air adalah 400 sampai 700 nm yang merupakan panjang gelombang cahaya tampak (Green dkk., 2000; Purkis, 2018). Nilai E_d yang tinggi berarti terjadi penyerapan yang tinggi pada cahaya dan nilai E_d yang rendah berarti terjadi penyerapan yang rendah pada cahaya. Nilai E_d pada rentang 400-700 nm memiliki nilai yang tidak sama karena penyerapan energi pada panjang gelombang akan berbeda-beda (Martin dkk., 2012). Pengambilan data sampel atenuasi dilakukan antara kedalaman 3m dan 6m dengan perbedaan kedalaman adalah 3m.

Hitungan nilai K_d dilakukan untuk panjang gelombang cahaya tampak PAR (400 – 700 nm) dan panjang gelombang yang disesuaikan dengan kanal spektrum tampak dari Worldview-3. PAR merupakan rentang spektrum gelombang yang dapat menembus kolom air. Worldview-3 memiliki 5 kanal untuk spektrum tampak yang terdiri dari Coastal Blue (400-450 nm), Blue (450-510 nm), Green (510-580 nm), Yellow (585-625 nm), dan Red (630-6900 nm). Tabel 2. merupakan hasil hitungan rerata dari nilai K_d yang telah dilakukan perhitungan pada setiap panjang gelombang. Rerata dihitung untuk keseluruhan data pada tiap rentang panjang gelombang. Data diambil merupakan rentang panjang gelombang mengacu pada metode yang digunakan Lafon dkk. (2002).

Tabel 2. Rerata nilai K_d Pengukuran

STA	Nilai $\overline{K_d}$					
	PAR	Red	Yellow	Green	Blue	Coastal
1	0.119	0.401	0.241	0.189	0.169	0.098
2	0.119	0.392	0.244	0.030	0.020	0.102
3	0.133	0.438	0.291	0.074	0.066	0.112
4	0.075	0.352	0.205	0.077	0.066	0.063
Rerata	0.111	0.396	0.245	0.093	0.080	0.094

Perhitungan dilakukan untuk data rekaman yang didapatkan mengacu pada rumus (1). Data kemudian dituangkan dalam bentuk grafik untuk hasil yang sudah disortir. Data diatas panjang gelombang 700 nm mendapatkan hasil yang kurang bagus karena pada panjang gelombang diatas 700 nm seperti NIR energi akan diserap habis oleh air atau hanya menembus beberapa cm saja pada kolom air sehingga terdapat data NAN dan data dengan nilai negatif. Nilai K_d dihitung untuk semua rentang panjang gelombang yang memiliki nilai dan disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Plotting nilai K_d untuk semua stasiun pengukuran

Hasil hitungan K_d pada Gambar 7 menunjukkan untuk rentang panjang gelombang PAR (400-700 nm) memiliki variasi yang cukup tinggi untuk rentang diatas 600 nm. Variasi tinggi ditunjukkan pada rentang panjang gelombang Red (630-690 nm). Hal tersebut karena gelombang red akan cepat terserap oleh kolom air sehingga pelemahan gelombang akan cepat terjadi. Pelemahan gelombang terdapat dua komponen yaitu hamburan dan serapan (Lee dkk., 2005). Panjang gelombang blue (450-510 nm) sampai yellow (585-625 nm) memiliki pola variasi yang teratur pada hasil yang diberikan.

Berdasarkan Saulquin dkk. (2013), perairan pelabuhan Karimunjawa memiliki tipe perairan

yang jernih dengan rerata keseluruhan $K_d(\text{PAR}) < 0.115 \text{ m}^{-1}$ yaitu bernilai 0.111 m^{-1} . STA 1 dan STA 2 merupakan perairan yang turbid mendekati jernih dengan nilai 0.119 m^{-1} . STA 3 merupakan perairan yang turbid dan STA 4 merupakan perairan jernih dengan keseluruhan stasiun untuk mewakili perairan penelitian merupakan perairan yang jernih dengan rerata nilai yang didapatkan dari $K_d(\text{PAR})$. Berdasarkan Jerlov (1976) perairan Pelabuhan Karimunjawa termasuk jenis III untuk *oceanic water* dan jenis 1 untuk *coastal water* berdasarkan nilai $K_d(\text{PAR})$.

3.2 Konstituen Air

Setiap stasiun pengukuran atenuasi air diambil sampel air perairan Pelabuhan Karimunjawa untuk diuji konstituen air. Pengujian konstituen air dilakukan di laboratorium. Pengujian dilakukan untuk mengetahui konstituen air berupa *chlorophyll*, TSS, TOM, dan CDOM. Tabel 2 menunjukkan hasil nilai konstituen air dari pengujian sampel air.

Tabel 2. Nilai konstituen air hasil pengujian

Stasiun	Chlor ($\mu\text{g/l}$)	TSS (mg/l)	TOM (%)	CDOM
STA 1	0.192	5.2	99.713	0.001
STA 2	0.116	10.0	99.690	0.001
STA 3	0.510	9.6	99.756	0.002
STA 4	0.273	12.0	99.768	0.002

Korelasi antara *chlorophyll* dan konstituen air yang lain (TSS, CDOM, dan TOM) menghasilkan nilai korelasi yang positif. *Chlorophyll* dengan TSS menghasilkan korelasi 0.200, CDOM menghasilkan korelasi 0.803, dan TOM menghasilkan korelasi 0.740. Hal tersebut berarti setiap terjadi kenaikan konsentrasi *chlorophyll* maka konsentrasi TSS, CDOM, dan TOM akan mengalami kenaikan dan sebaliknya untuk perairan Pelabuhan Karimunjawa.

3.3 Hubungan Atenuasi dan Konstituen

Nilai K_d yang sudah dihitung berdasarkan rentang PAR (400 – 700 nm) dan kanal spektrum tampak Worldview-3 dilakukan proses perhitungan korelasi dengan nilai konstituen yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium. Rentang PAR mewakili semua kondisi panjang gelombang sehingga korelasi PAR dan konstituen yang lainnya merupakan pengaruh total dari konstituen air.

Proses hitungan korelasi menggunakan *software* IBM SPSS Statistics dengan menggunakan metode *Pearson Correlation* (Asuero dkk., 2006). Hasil ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Korelasi antara Atenuasi dan Konstituen Air

Korelasi Atenuasi dan Konstituen Air				
$K_d(\lambda)$	Chl	TSS	CDOM	TOM
Kd_PAR	0.269	-0.535	-0.331	-0.443
Kd_Coastal	0.247	-0.484	-0.337	-0.468
Kd_Blue	-0.037	-0.829	-0.263	-0.003
Kd_Green	-0.069	-0.835	-0.290	-0.029
Kd_Yellow	0.629	-0.267	0.086	-0.058
Kd_Red	0.564	-0.431	-0.024	-0.128

K_d dengan panjang gelombang PAR memiliki korelasi positif untuk konstituen air berupa *chlorophyll* dan negatif untuk konstituen TSS, TOM, dan CDOM. Hal tersebut berarti setiap terjadi kenaikan dari nilai K_d maka konstituen air berupa *chlorophyll* untuk perairan Pelabuhan Karimunjawa mengalami kenaikan nilai dan sebaliknya. Atenuasi merupakan pelemahan energi saat melakukan penetrasi ke kolom air sehingga setiap kenaikan nilai konsentrasi *chlorophyll* akan menaikkan nilai pelemahan energi. Hal tersebut juga terjadi pada hubungan atenuasi dan *chlorophyll* yang dihitung pada rentang panjang gelombang *coastal blue*, *yellow*, dan *red* pada Worldview-3. Berbeda dengan kanal *blue* dan *green* yang memiliki nilai korelasi negatif pada hubungan atenuasi dan *chlorophyll*. Tetapi nilai korelasi yang diberikan oleh kedua kanal mendekati 0 sehingga memiliki hubungan yang lemah. *Chlorophyll* memiliki hubungan yang kuat pada nilai 430 nm (*coastal blue* pada Worldview-3) dan 660 nm (*red* pada Worldview-3) (Han dan Jordan, 2005). Hasil memberikan atenuasi pada kanal *yellow* dan *red* memberikan hubungan yang kuat dengan *chlorophyll*. Untuk TSS dari hasil memberikan hubungan yang kuat pada kanal *blue* dan *green* dengan nilai yang negatif. TSS berkorelasi dengan kanal *green* (Parwati dkk., 2014).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, hubungan nilai atenuasi dan konstituen air di perairan Pelabuhan Karimunjawa memiliki nilai korelasi positif. Korelasi positif menunjukkan setiap kenaikan nilai atenuasi maka konsentrasi *chlorophyll* mengalami kenaikan. Korelasi

chlorophyll dengan konstituen CDOM, TOM, dan TSS bernilai positif yang menunjukkan setiap kenaikan konsentrasi *chlorophyll* maka terjadi kenaikan konstituen yang lain. Perairan Pelabuhan Karimunjawa dengan nilai $K_d(\text{PAR})$ adalah 0.111 m^{-1} memiliki tipe perairan I dan III dengan kondisi perairan jernih.

Saran penelitian ini adalah penambahan sampel lapangan untuk meningkatkan analisis hasil yang dilakukan. Semakin banyak sampel lapangan untuk atenuasi dan konstituen air maka proses kajian akan mendekati kondisi sebenarnya. Proses pengukuran atenuasi perlu dilakukan dengan lebih teliti dalam perhitungan kedalaman alat terendam agar nilai atenuasi yang didapatkan teliti.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pelaksanaan penelitian batimetri berbasis satelit dilakukan atas kerjasama Departemen Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada bersama dengan Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh (PUSFATJA) LAPAN. Penulis mengucapkan terima kasih kepada PUSFATJA LAPAN yang telah mengizinkan penggunaan alat TriOS Ramses Spektrometer. Ucapan terima kasih juga disampaikan ke Departemen Teknik Geodesi UGM yang telah memberikan pendanaan untuk penelitian batimetri berbasis satelit.

DAFTAR PUSTAKA

- Asuero, A. G., Sayago, A. dan Gonz, A. G. (2006) *The Correlation Coefficient: An Overview*. The University of Seville. doi: 10.1080/10408340500526766.
- Devlin, M. J. *et al.* (2009) "Estuarine, Coastal and Shelf Science Estimating the diffuse attenuation coefficient from optically active constituents in UK marine waters," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82, hal. 73–83. doi: 10.1016/j.ecss.2008.12.015.
- Gao, J. (2009) "Bathymetric mapping by means of remote sensing: Methods, accuracy and limitations," *Progress in Physical Geography*, 33(1), hal. 103–116.
- Gege, P. dan Pinnel, N. (2011) "Sources of Variance of Downwelling Irradiance in Water," *Applied Optics*.
- Green, E. P. *et al.* (2000) *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. Diedit oleh A. J. Edwards. Paris: UNESCO. doi: 10.1109/6.367967.
- Han, L. dan Jordan, K. J. (2005) "Estimating and mapping chlorophyll- a concentration in Pensacola Bay, Florida using Landsat ETM + data," *International Journal of Remote Sensing*, 26(23), hal. 5245–5254. doi: 10.1080/01431160500219182.
- Jaud, T. *et al.* (2012) "Relationship between Chlorophyll a Concentration, Light Attenuation and Relationship between Chlorophyll a Concentration, Light Attenuation and Diving Depth of the Southern Elephant Seal *Mirounga leonina*," *PLOS ONE*, (February 2014). doi: 10.1371/journal.pone.0047444.
- Jerlov, N. G. (1976) *Marine Optics*. Copenhagen: Elsevier Inc.
- Kowalczyk, P., Stedmon, C. A. dan Markager, S. (2006) "Modeling absorption by CDOM in the Baltic Sea from season, salinity and chlorophyll," *Marine Chemistry*, 101, hal. 1–11. doi: 10.1016/j.marchem.2005.12.005.
- Lafon, V. *et al.* (2002) "SPOT shallow water bathymetry of a moderately turbid tidal inlet based on field measurements," *Remote Sensing of Environment*, 81(1), hal. 136–148. doi: 10.1093/aje/kwx046.
- Lee, Z., Du, K. dan Arnone, R. (2005) "A model for the diffuse attenuation coefficient of downwelling irradiance," *Journal of Geophysical Research*, 110, hal. 1–10. doi: 10.1029/2004JC002275.
- Lee, Z. P. *et al.* (2005) "Bathymetry of shallow coastal regions derived from space-borne hyperspectral sensor," *Proceedings of MTS/IEEE OCEANS, 2005*, 2005, hal. 1–11. doi: 10.1109/OCEANS.2005.1640084.
- Lyzenga, D. R. (1978) "Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features," *Applied Optics*, 17(3), hal. 379.
- Martin, J. *et al.* (2012) "Atmospheric correction models for high resolution WorldView-2 multispectral imagery: a case study in Canary Islands, Spain." doi: 10.1117/12.974564.
- McKinna, L. I. W. *et al.* (2015) "A semianalytical ocean color inversion algorithm with explicit water column depth and substrate reflectance parameterization," *Journal of Geophysical Research: Oceans*, hal. 1741–1770. doi: 10.1002/2014JC010224.
- Meliani, F. *et al.* (2018) "Pengukuran Koefisien Atenuasi Dan Hubungannya Dengan Kualitas Air Di Perairan Kelurahan Pulau Panggang," *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 9(1), hal. 73–81.

- Mobley, C. D. (1994) "Optical Properties of Water," *Light and waters: Radiative Transfer in Natural Waters*, hal. 60–144. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00069-7>.
- Nuzapril, M. dan Panjaitan, J. P. (2017) "Hubungan Antara Konsentrasi Klorofil-A Dengan Tingkat Produktivitas Primmer Menggunakan Citra Satelit Landsat-8," *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, (July). doi: 10.24319/jtpk.8.105-114.
- Pacifici, F. (2016) "Validation of the DigitalGlobe surface reflectance product," *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2016–November, hal. 1973–1975. doi: 10.1109/IGARSS.2016.7729508.
- Parwati, E. *et al.* (2014) "The relationship between total suspended solid (TSS) and coral reef growth (case study of Derawan Island , Berau Regency , East Kalimantan)," *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, (April). doi: 10.30536/j.ijreses.2013.v10.a1849.
- Prasetyo, B. A. *et al.* (2017) "In-Situ Measurement Of Diffuse Attenuation Coefficient And Its Relationship With Water Constituent And Depth Estimation Of Shallow Waters By Remote Sensing Technique," *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 14(1), hal. 47–60.
- Purkis, S. J. (2018) "Remote Sensing Coral Reefs," *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. 3 ed. Elsevier Inc., hal. 1–8. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10813-9.
- Saulquin, B. *et al.* (2013) "Estimation of the diffuse attenuation coefficient KdPAR using MERIS and application to seabed habitat mapping," *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 128, hal. 224–233. doi: 10.1016/j.rse.2012.10.002.
- Simon, A. dan Shanmugam, P. (2013) "A new model for the vertical spectral diffuse attenuation coefficient of downwelling irradiance in turbid coastal waters : validation with in situ measurements," *Optical Society of America*, 21(24), hal. 543–545. doi: 10.1364/OE.21.030082.
- Smith, M. J. (2015) *A comparison of DG AComp , FLAASH and QUAC atmospheric compensation algorithms using WorldView-2 imagery*. University of Colorado.
- UKHO (2015) *Satellite Derived Bathymetry*. IHO, 11th CSPCWG - 1st NCWG Meeting, Rostock, Germany