

ESTIMASI PRODUKTIVITAS PRIMER PERAIRAN BERDASARKAN KONSENTRASI KLOROFIL-A YANG DIEKSTRAK DARI CITRA SATELIT LANDSAT-8 DI PERAIRAN KEPULAUAN KARIMUN JAWA (ESTIMATION OF SEA PRIMARY PRODUCTIVITY BASED ON CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION DERIVED FROM SATELLITE LANDSAT-8 IMAGERY IN KARIMUN JAWA ISLAND)

Mulkan Nuzapril^{1}, Setyo Budi Susilo^{**}, James P. Panjaitan^{**},**

^{*)}Program Studi Teknologi Kelautan, FPIK, IPB, Bogor

^{})Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK IPB, Bogor**

Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Dermaga, Bogor Indonesia

¹email: mnuzapril@gmail.com

Diterima 6 Februari 2017; Direvisi 18 Agustus 2017; Disetujui 28 Agustus 2017

ABSTRACT

Sea primary productivity is an important factor in monitoring the quality of sea waters due to his role in the carbon cycle and the food chain for heterotrophic organisms. Estimation of sea primary productivity may be suspected through the values of chlorophyll-a concentration, but surface chlorophyll-a concentration was only able to explain 30% of the primary productivity of the sea. This research aims to build primary productivity estimation model based on chlorophyll-a concentration value of a surface layer of depth until depth compensation. Primary productivity model of relationships with chlorophyll concentration were extracted from Landsat-8 imagery then it could be used to calculated of sea primary productivity. The determination of the depth classification were done by measuring the attenuation coefficient values using the *luxmeter underwater datalogger 2000* and *secchi disk*. The attenuation coefficient values by the *luxmeter underwater*, ranges between of 0.13-0.21 m^{-1} and *secchi disk* ranged, of 0.12 – 0.21 m^{-1} . The penetration of light that through into the water column where primary productivity is still in progress or where the depth of compensation ranged from 28.75 – 30.67 m. The simple linier regression model between average value of chlorophyll-concentration in all euphotic zone with sea primary productivity has high correlation, it greater than of surface chlorophyll-a concentration ($R^2 = 0.65$). Model validation of sea primary productivity has high accuracy with the RMSD value of 0.09 and satellite-derived sea primary productivity were not significantly different. The satellite derived of chlorophyll-a could be calculated into sea primary productivity.

Keywords: *attenuation coefficient, chlorophyll-a concentration, sea primary productivity*

ABSTRAK

Produktivitas primer perairan merupakan faktor penting dalam pemantauan kualitas perairan laut karena berperan dalam siklus karbon dan rantai makanan bagi organisme heterotrof. Estimasi produktivitas primer perairan dapat diduga melalui nilai konsentrasi klorofil-a, namun konsentrasi klorofil-a permukaan laut hanya mampu menjelaskan 30% produktivitas primer laut. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model estimasi produktivitas primer berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a dari lapisan kedalaman permukaan sampai kedalaman kompensasi. Model hubungan produktivitas primer dengan konsentrasi klorofil-a yang diekstrak dari citra satelit Landsat-8 kemudian dapat digunakan untuk mengestimasi produktivitas primer satelit. Penentuan klasifikasi kedalaman dilakukan dengan mengukur nilai koefisien atenuasi menggunakan *luxmeter underwater datalogger 2000* dan *secchi disk*. Nilai koefisien atenuasi dengan menggunakan *luxmeter underwater* berkisar antara $0,13 - 0,21 \text{ m}^{-1}$ dan *secchi disk* berkisar antara $0,12 - 0,21 \text{ m}^{-1}$. Penetrasi cahaya yang masuk ke kolom perairan dimana produksi primer masih berlangsung atau kedalaman kompensasi berkisar antara $28,75 - 30,67 \text{ m}$. Model regresi linier sederhana antara konsentrasi klorofil-a rata-rata seluruh zona eufotik dengan produktivitas primer perairan memiliki korelasi yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi klorofil-a permukaan dengan $R^2 = 0,65$. Validasi model produktivitas primer memiliki keakuratan yang tinggi dengan RMSD sebesar 0,09 dan produktivitas primer satelit secara signifikan tidak berbeda nyata dengan produktivitas primer data *insitu*. Sehingga nilai konsentrasi klorofil-a satelit dapat ditransformasi menjadi produktivitas primer satelit.

Kata kunci: koefisien atenuasi, konsentrasi klorofil-a, produktivitas primer perairan

1 PENDAHULUAN

Produktivitas primer adalah kecepatan terjadinya proses fotosintesis atau pengikatan karbon dan produksi karbohidrat (zat organik) dalam satuan waktu dan volume tertentu (Kirk, 2011; Lee *et al.*, 2014). Produktivitas primer perairan merupakan salah satu faktor penting dalam ekosistem perairan laut, karena berperan dalam siklus karbon dan rantai makanan untuk organisme heterotrof (Ma *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014). Pada ekosistem akuatik sebagian besar produktivitas primer perairan dilakukan oleh fitoplankton dan kurang lebih produksi primer di laut berasal dari fitoplankton (Parson *et al.*, 1984).

Konsentrasi klorofil-a sering digunakan untuk mengestimasi biomassa fitoplankton dan produktivitas perairan yang dapat digunakan dalam pengelolaan sumberdaya laut dan pemantaun kualitas perairan (Zhang and Han, 2015). Pemanfaatan teknologi penginderaan

jauh dapat digunakan untuk mendeteksi biomassa pigmen, (Vernet and Smith, 2007), namun tidak dapat mendeteksi produktivitas primer (Susilo, 1999). Sehingga produksi oleh fitoplankton dihitung menggunakan model bio-optik melalui perekaman data oleh sensor satelit (Vernet and Smith, 2007). Prosedur untuk mengestimasi produktivitas primer dari data satelit dapat dihitung menggunakan algoritma model produktivitas primer (Behrenfeld *et al.*, 2002).

Model estimasi produktivitas primer perairan menggunakan penginderaan jauh satelit telah banyak dikembangkan yaitu oleh Behrenfeld and Falkowski, (1997); Behrenfeld *et al.* (2005); Hirawake *et al.* (2012). Namun, penerapan model ini membutuhkan masukan data yang banyak. Selain itu, kendala dari model hubungan antara konsentrasi klorofil-a dan produktivitas primer perairan yaitu salah satunya karena sensor satelit

hanya mampu mendeteksi pada kedalaman permukaan laut atau kedalaman satu atenuasi cahaya (Kuring *et al.*, 1990). Menurut (Campbell *et al.*, 2002) konsentrasi klorofil-a permukaan hanya mampu menjelaskan kurang lebih 30 % produktivitas primer laut sedangkan produktivitas primer berlangsung sampai 4,6x kedalaman atenuasi cahaya atau kedalaman kompensasi (Kuring *et al.*, 1990; Balch *et al.*, 1992). Kedalaman kompensasi sendiri merupakan kedalaman dimana intensitas cahaya tinggal 1% dari intensitas cahaya di permukaan dimana proses fotosintesis dan respirasi seimbang (Kirk, 2011; Parson *et al.*, 1984).

Penelitian mengenai hubungan antara konsentrasi klorofil-a dan produktivitas primer menggunakan aplikasi teknologi penginderaan jauh telah dilakukan oleh Eppley *et al.*, (1985); Hill and Zimmerman, (2010); Hill *et al.* (2013). Di Indonesia pengembangan model empiris untuk estimasi produktivitas perairan dari konsentrasi klorofil-a yang diturunkan dari citra satelit ini masih jarang dilakukan. Penelitian yang pernah dilakukan yaitu oleh Susilo *et al.*, (1995) di perairan Subang dan Susilo (1999) di perairan selatan Jawa Barat. Namun, penelitian tersebut belum dapat menggambarkan produktivitas primer di seluruh zona eufotik karena pengukuran dilakukan pada kedalaman 10 m. Oleh sebab itu pada penelitian ini diharapkan dapat mengestimasi rata-rata produktivitas primer di seluruh kolom air zona eufotik menggunakan pendekatan model empiris data *insitu* konsentrasi klorofil-a yang kemudian diterapkan untuk analisis citra satelit.

Model statistik sederhana untuk mengestimasi rata-rata produktivitas primer menggunakan informasi konsentrasi klorofil-a laut di seluruh

zona eufotik, karena konsentrasi klorofil-a merupakan indikator utama untuk mengestimasi produktivitas primer dan merupakan variabel penting dalam proses fotosintesis (Ma *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014). Berdasarkan asumsi tersebut sehingga penelitian ini bertujuan untuk membangun model estimasi produktivitas primer perairan berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a yang diekstrak dari citra satelit Landsat-8.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Penelitian dilakukan di perairan pulau Karimunjawa dan Kemujan pada 20 stasiun pengamatan (Gambar 2-1). Karakteristik perairan Karimun Jawa yang terdiri dari ekosistem karang, mangrove dan lamun membuat produktivitas primer dipengaruhi banyak faktor. Sehingga stasiun pengamatan berada sedikit ke arah laut lepas agar produktivitas primer dominan dipengaruhi konsentrasi klorofil-a.

Penentuan stasiun pengamatan tersebut diharapkan dapat mengestimasi produktivitas primer perairan tidak hanya di sekitar pulau Karimun Jawa dan Kemujan saja tetapi dapat digunakan untuk seluruh perairan kepulauan Karimun Jawa dengan asumsi nilai konsentrasi klorofil-a konstan. Penelitian dilakukan pada 15-18 Mei 2016 dan berada pada koordinat $5^{\circ} 46' 00'' - 5^{\circ} 54' 00''$ LS dan $110^{\circ} 22' 30'' - 110^{\circ} 33' 30''$ BT. Data citra satelit yang digunakan adalah citra Landsat-8 OLI pada *path/row* 120/64 dengan tanggal perekaman satelit 15 Mei 2016.

2.2 Pengambilan Data *Insitu*

Prosedur pengambilan data dilakukan dengan mengambil contoh sampel air menggunakan *van dorn bottle sampler* pada tiap stasiun pengamatan dan tiga titik kedalaman pada zona

eufotik. Kedalaman tersebut ditentukan dengan mencari terlebih dahulu nilai koefisien atenuasi. Hal tersebut karena koefisien atenuasi merupakan besarnya nilai hambatan intensitas cahaya yang menembus kolom air (Kirk, 2011).

Perhitungan koefisien atenuasi dihitung menggunakan hukum Beer Lambert (Parson *et al.*, 1984). Pengukuran intensitas cahaya menggunakan *luxmeter underwater datalogger 2000*, sehingga perhitungan koefisien atenuasi adalah:

$$k = \frac{\ln(I_0/I_z)}{Z} \quad (2-1)$$

dimana:

I_z = Intensitas cahaya pada kedalaman z (lux),

I_0 = Intensitas cahaya permukaan (lux),

K = Koefisien atenuasi (m^{-1}),

z = Kedalaman (m).

Persamaan empiris lain untuk menghitung koefisien atenuasi dari pembacaan kedalaman keping *secchi disk* dengan menggunakan hubungan persamaan empiris dari Tilmann *et al.* (2000), sebagai berikut:

$$k = 0.191 + \frac{1.242}{Zsd} \quad (2-2)$$

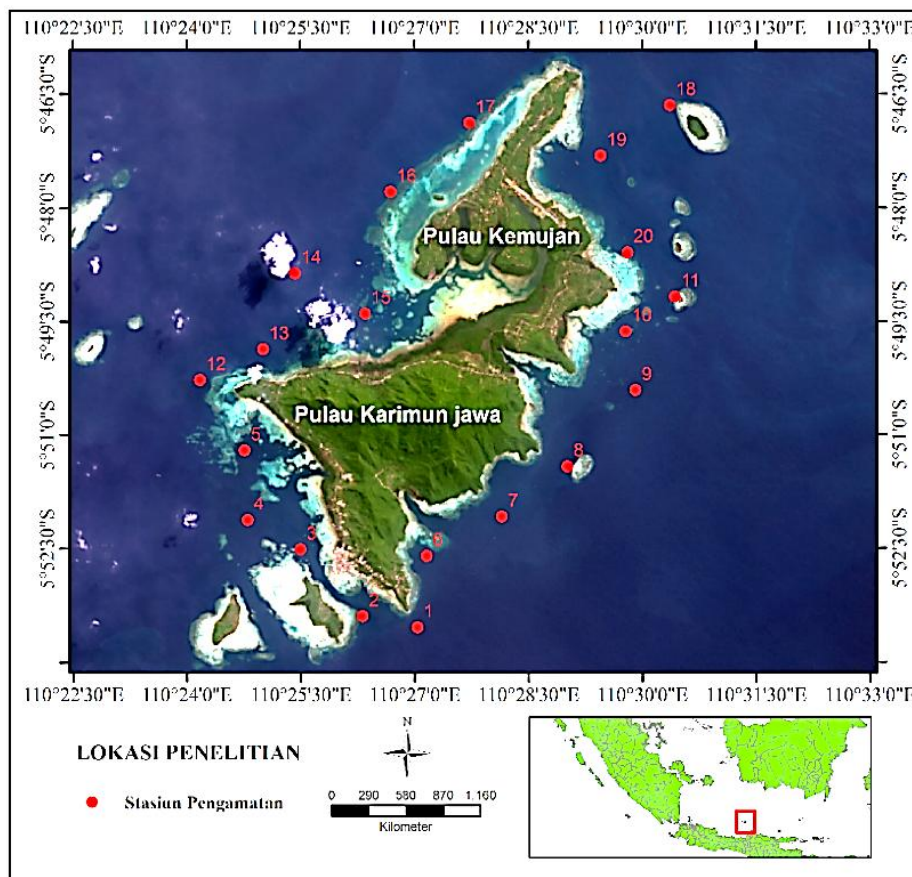
dimana:

k = koefisien atenuasi (m^{-1}),

Zsd = kedalaman *secchi disk* (m).

Sampel air yang diambil yaitu pada kedalaman permukaan atau kedalaman satu atenuasi cahaya (k^{-1}), kedalaman tengah zona eufotik dan kedalaman kompensasi. Kedalaman kompensasi dihitung menggunakan rumus (Hill *et al.* 2013):

$$\text{Kedalaman kompensasi} = \frac{4,6}{k} \quad (2-3)$$



Gambar 2-1: Peta Lokasi Penelitian (Sumber Peta: Citra Landsat 8)

Sampel air yang telah diambil kemudian dianalisis di laboratorium untuk diuji nilai konsentrasi klorofil-a. Analisis laboratorium menggunakan metode spektrofotometer (APHA, 2012). Pengukuran produktivitas primer dilakukan secara *insitu* dari komposit sampel air yang telah didapat dengan menggunakan metode botol-terang dan botol gelap. Pengukuran dilakukan pada siang hari antara pukul 09.00 – 15.00 WIB dengan inkubasi selama 3 - 5 jam. Oksigen terlarut yang diukur menggunakan metode *Winkler*. Nilai oksigen terlarut tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai produktivitas primer (APHA, 2012).

2.3 Pengolahan Citra Satelit

Tahap pengolahan citra satelit dimulai dengan melakukan koreksi geometrik dan radiometrik. Koreksi geometrik pada prinsipnya digunakan untuk memperbaiki kesalahan posisi citra satelit terhadap lokasi sebenarnya di permukaan bumi dan memiliki acuan sistem koordinat. Citra satelit Landsat-8 OLI juga dikoreksi secara radiometrik untuk mengubah nilai *digital number* (DN) menjadi nilai reflektansi dengan resolusi radiometrik 16-bit *integer* pada produk level 1 dan dikonversi menjadi nilai reflektansi *Top of Atmosphere* (TOA). Konversi nilai untuk reflektansi TOA menggunakan persamaan dari USGS (2015):

$$\rho\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (2-4)$$

dimana :

$\rho\lambda'$ = reflektansi TOA (*top of atmosfer*), tanpa koreksi sudut matahari,

M_p = REFLECTANCEW_ MULT_ BAND_x, di mana x adalah nomor Band,

A_p = REFLECTANCEW_ADD_BAND_x, di mana x adalah nomor Band,

Q_{cal} = Nilai *digital number* (DN).

Besaran $\rho\lambda$ bukan reflektansi TOA karena belum dilakukan koreksi sudut elevasi matahari. Sudut elevasi matahari terdapat dalam metadata. Untuk menghitung $\rho\lambda$ sebenarnya digunakan persamaan:

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \sin(\theta) \quad (2-5)$$

dimana:

$\rho\lambda$ = TOA reflektansi,

$\sin(\theta)$ = Sudut elevasi matahari.

Koreksi atmosferik menggunakan metode *Dark Object Subtraction* (DOS) untuk mendapatkan nilai reflektansi permukaan. Asumsi yang digunakan yaitu nilai piksel minimum harus bernilai nol sehingga nilai minimum selain nol dianggap berasal dari atmosfer (Jaelani et al., 2015). Ekstraksi nilai konsentrasi klorofil-a dari citra satelit Landsat-8 dilakukan dengan menggunakan algoritma yang dikembangkan oleh Jaelani et al. (2015), dengan persamaan:

$$\text{Log}(\text{chl-a}) = -0.9889 * \frac{\lambda(\text{red})}{\lambda(\text{NIR})} + 0.3619 \quad (2-6)$$

dimana Chl-a adalah nilai konsentrasi klorofil-a (mg/m^3), dan $\lambda(\text{red})$ dan $\lambda(\text{NIR})$ adalah nilai *reflektansi* pada kanal merah dan inframerah dekat pada Landsat-8 OLI. Nilai konsentrasi klorofil-a tersebut masih nilai konsentrasi klorofil-a permukaan sehingga untuk mentransformasi menjadi nilai konsentrasi klorofil-a seluruh zona eufotik menggunakan algoritma (Nuzapril et al., 2017) dengan persamaan:

$$K = 0.1442 + 0.615C \quad (2-7)$$

dimana K adalah konsentrasi klorofil-a kolom air seluruh daerah eufotik (mg/m^3) dan C adalah konsentrasi klorofil-a permukaan (mg/m^3).

2.4 Model Produktivitas Primer

Analisis model produktivitas primer pada penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi produktivitas primer berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a yang diekstrak dari citra satelit. Model hubungan ini dirancang agar konsentrasi klorofil-a satelit dapat ditransformasi untuk mengestimasi produktivitas primer satelit (Hill *et al.*, 2013), dengan persamaan sebagai berikut:

$$PP_{sat} = a + b (Chl_{sat}) \quad (2-8)$$

dimana:

PP_{sat} = Produktivitas primer satelit (mgC/m³/jam),

Chl_{sat} = Konsentrasi klorofil-a satelit (mg/m³),

a dan b = koefisien regresi.

2.5 Validasi Model

Akurasi data dari pengukuran dengan citra satelit, dengan membandingkannya dengan data pengukuran *insitu* menggunakan analisis *Root Mean Square Difference* (RMSD) (Hirawake *et al.*, 2012). Perhitungan RMSD adalah sebagai berikut:

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\log PP_i - \log PP_j)^2}{n}} \quad (2-9)$$

dimana:

Log PP_i = data produktivitas primer estimasi citra satelit (mgC/m³/jam),

Log PP_j = data produktivitas primer *insitu* (mgC/m³/jam),

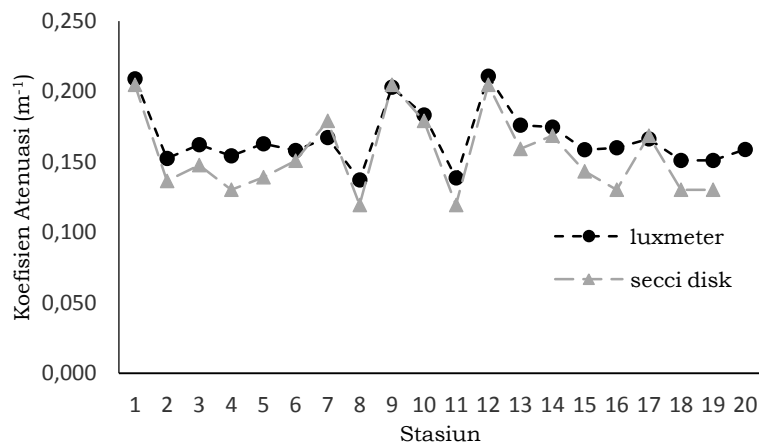
N = jumlah data.

Apabila nilai RMSD <0.3 mengindikasikan keakuratan pada model terhadap nilai pengukuran *insitu* (Hill and Zimmerman, 2010; Hirawake *et al.*, 2012).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Koefisien Atenuasi *Secchi Disk* dan *Luxmeter Underwater*

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien atenuasi, hasil yang diperoleh menggunakan hukum Beer Lambert berkisar antara 0,13 – 0,21m⁻¹ dengan rata-rata 0,16 m⁻¹ dan nilai koefisien atenuasi dengan *secchi disk* berkisar antara 0,12 – 0,21 m⁻¹ dengan rata-rata koefisien atenuasi 0,15 m⁻¹. Pengukuran nilai koefisien atenuasi antara *luxmeter underwater* dan *secchi disk* secara signifikan tidak berbeda nyata (p>0,05). Berdasarkan nilai koefisien atenuasi sehingga dapat dihitung kedalaman eufotik atau kedalaman kompensasi yaitu berkisar antara 28,75 – 30,67 m.



Gambar 3-1: Nilai koefisien atenuasi dari pengukuran *luxmeter underwater* dan *sechi disk*

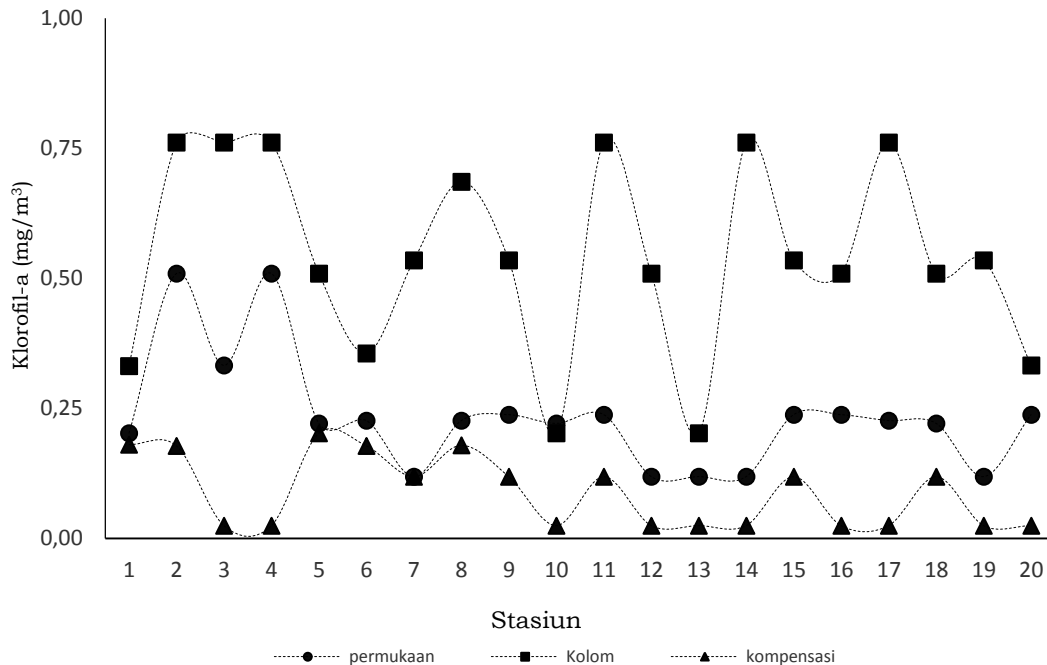
Atenuasi cahaya yang masuk kedalam kolom air dipengaruhi dua proses yaitu absorpsi dan hamburan (Kirk 2011). Kedalaman penetrasi cahaya berfungsi untuk mengetahui proses asimilasi tumbuhan terjadi karena laju fotosintesis fitoplankton merupakan fungsi linier dengan intensitas cahaya (Asriyana dan Yuliana, 2012).

3.2 Distribusi Konsentrasi Klorofil-a

Sebaran nilai klorofil-a di semua stasiun penelitian dan tiap kedalaman menunjukkan bahwa nilai konsentrasi klorofil-a paling tinggi berada di kolom perairan dan semakin rendah pada kedalaman kompensasi (Gambar 3-2). Konsentrasi klorofil-a permukaan memiliki nilai yang lebih kecil dan terkadang sama dengan konsentrasi kedalaman di kolom perairan. Nilai konsentrasi klorofil-a pada lapisan

permukaan berkisar antara 0,118 – 0,589 mg/m³ dengan nilai rata-rata 0,233 mg/m³, pada lapisan kolom perairan nilai konsentrasi klorofil lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan permukaan dengan nilai berkisar antara 0,202 – 0,760 mg/m³ dengan nilai rata-rata 0,542 mg/m³.

Lapisan kedalaman kompensasi merupakan nilai konsentrasi klorofil-a terendah karena menurunnya intensitas cahaya dibandingkan lapisan permukaan dan lapisan kolom perairan dengan nilai berkisar antara 0,024 – 0,202 mg/m³ dengan nilai rata-rata 0,08 mg/m³. Konsentrasi klorofil-a paling tinggi berada pada lapisan kedalaman tengah zona eufotik dimana hal tersebut dikarenakan intensitas cahaya yang terlalu tinggi pada lapisan permukaan dan intensitas yang semakin menurun ketika mendekati lapisan kedalaman kompensasi (Asriyana dan Yuliana, 2012).



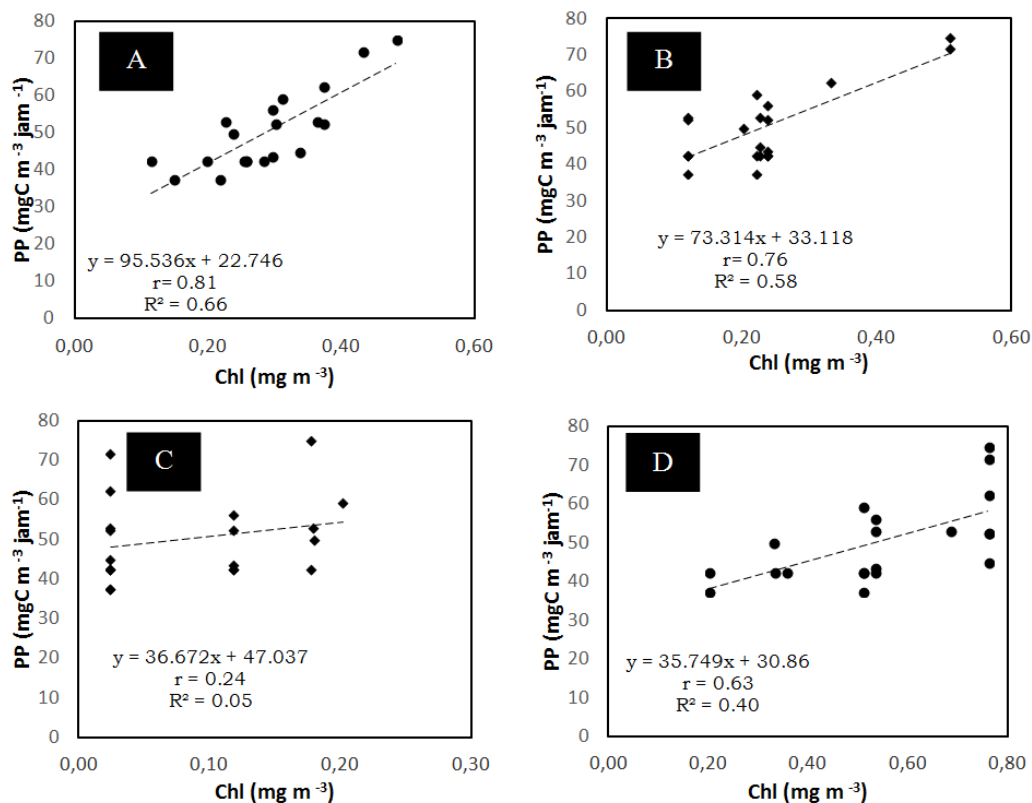
Gambar 3-2: Nilai konsentrasi klorofil-a di setiap stasiun pengamatan

Pengetahuan distribusi vertikal konsentrasi klorofil-a seharusnya dapat digunakan untuk membuat algoritma produktivitas primer perairan (Campbell *et al.*, 2002). Menurut Sathyendranath dan Platt (1989), dua cara dalam memprediksi distribusi biomassa fitoplankton pertama adalah distribusi vertikal pada biomassa fitoplankton adalah seragam dalam percampuran air yang baik pada lapisan permukaan, oleh karena itu konsentrasi klorofil pada banyak kedalaman adalah seimbang sampai *subsurface* dan masih mungkin dilakukan dengan pengukuran satelit kemudian yang kedua adalah kondisi stratifikasi dimana lapisan *subsurface* maksimum biasanya terdapat pada kisaran kedalaman dari permukaan sampai lapisan eufotik (1% atau intensitas cahaya tinggal 1%). Menurut Siswanto *et al.* (2005) profil vertikal klorofil-a secara umum tidak hanya untuk mengestimasi biomassa total fitoplankton tetapi juga

sebagai salah satu prinsip untuk menganalisis model estimasi produktivitas primer dengan menggunakan penginderaan jauh satelit.

3.3 Model Produktivitas Primer

Nilai produktivitas primer bersih berdasarkan data pengukuran *insitu* (Nuzapril *et al.*, 2017) berkisar antara 37 – 75 mgC/m³/jam dengan rata-rata produktivitas primer per harinya yaitu 562 mgC/m³/hari. Model hubungan antara produktivitas primer dengan konsentrasi klorofil-a dengan beberapa integrasi kedalaman menunjukkan bahwa nilai korelasi tertinggi produktivitas primer yaitu dengan nilai konsentrasi klorofil-a kolom air seluruh zona eufotik $r = 0.81$. Korelasi terendah hubungan antara konsentrasi klorofil-a dengan produktivitas pimer yaitu pada lapisan kedalaman kompensasi $r = 0.24$ (Gambar 3-3).



Gambar 3-3: Model regresi antara produktivitas primer dengan (a) konsentrasi klorofil-a kolom air seluruh zona eufotik (Nuzapril *et al.* 2017) (b) Konsentrasi klorofil-a permukaan (c) Konsentrasi klorofil-a kompensasi (d) Konsentrasi klorofil-a tengah zona eufotik

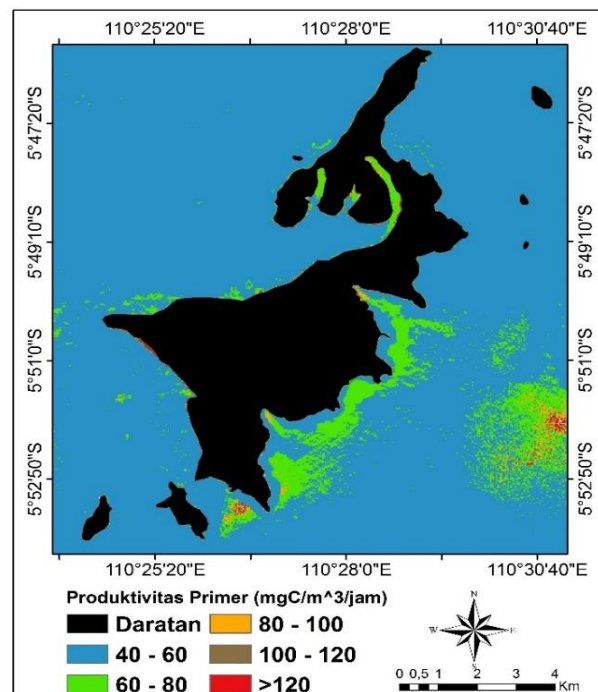
Penelitian terkait hubungan antara konsentrasi klorofil-a dengan produktivitas primer untuk aplikasi penginderaan jauh yang dilakukan Susilo (1999) di selatan Jawa Barat menunjukkan nilai koefisien korelasi lebih rendah dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dari hasil penelitian. Sementara itu nilai korelasi antara konsentrasi klorofil-a dengan produktivitas primer di perairan Subang (Susilo *et al.*, 1995) memiliki nilai yang lebih tinggi. Demikian pula model yang dikembangkan oleh Hill *et al.* (2013) dan Hill and Zimmerman (2010) korelasi antara konsentrasi klorofil-a dengan produktivitas primer perairan sebesar 0,81 dan 0,86. (Tabel 3-1). Hill *et al.* (2013) menyatakan bahwa model hubungan empiris sederhana antara produktivitas primer dengan konsentrasi klorofil-a ekstraksi citra satelit dapat diaplikasikan dengan

asumsi bahwa nilai integrasi konsentrasi klorofil-a dari permukaan sampai kedalaman eufotik homogen sehingga konsentrasi klorofil-a citra satelit dianggap konstan diseluruh zona eufotik.

Distribusi produktivitas primer dari analisis citra satelit menunjukkan bahwa nilai produktivitas primer lebih tinggi berada di sekitar perairan yang dekat dengan daratan dan semakin rendah ke arah laut lepas (Gambar 3-4). Hal tersebut karena pada daerah pesisir Karimun Jawa dihuni oleh ekosistem penting seperti ekosistem karang, lamun dan mangrove yang mempunyai nutrisi tinggi. Asriyana dan Yuliana, (2012) menyatakan bahwa perairan laut lepas lebih sedikit menerima pasokan unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan laut untuk menghasilkan produksi primer.

Tabel 3-1: KORELASI HUBUNGAN KONSENTRASI KLOOROFIL-A DENGAN PRODUKTIVITAS PRIMER

Model regresi	r	r ²
Hill <i>et al.</i> (2013)	0,81	0,66
Hill and Zimmerman (2010)	0,86	0,74
Susilo <i>et al.</i> (1995)	0,86	0,73
Susilo (1999)	0,67	0,45



Gambar 3-4: Peta distribusi spasial produktivitas primer citra satelit

Model estimasi citra satelit dengan hasil ekstraksi konsentrasi klorofil-a citra satelit (Gambar 3-5a) menghasilkan persamaan:

$$PP_{sat} = 46,376 + 33,204(Chl_{sat}) \quad (2-10)$$

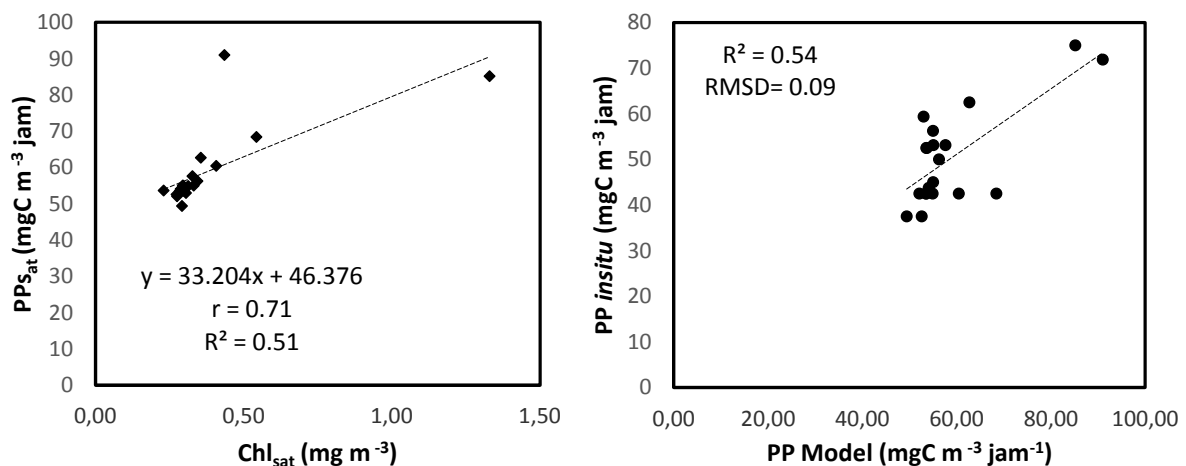
Korelasi antara konsentrasi klorofil-a citra satelit dengan produktivitas primer yaitu sebesar $(r) = 0.71$ (Gambar 3-5a). Pengujian akurasi antara estimasi citra satelit dengan pengukuran *insitu* memiliki nilai *error* atau RMSD sebesar 0,09 dan $R^2 = 0,54$ (Gambar 3-5b) yang menunjukkan keakuratan antara model estimasi produktivitas dengan hasil pengukuran *insitu*. Varian data produktivitas primer model dengan produktivitas primer *insitu* secara signifikan tidak berbeda nyata ($p > 0,05$), sehingga konsentrasi klorofil-a yang diekstrak dari citra satelit dapat digunakan untuk mengestimasi produktivitas primer perairan.

Beberapa metode numerik telah dapat menggambarkan nilai estimasi produktivitas primer di perairan laut

(Behrenfeld dan Falkowski, 1997), sehingga penggunaan teknologi penginderaan jauh dapat membantu dalam pemantauan kualitas kesuburan perairan pada area yang luas yang tidak dapat dijangkau secara konvensional. Pengukuran dengan sensor satelit merupakan salah satu cara yang mungkin dan layak untuk mengestimasi produktivitas primer laut dan daerah pesisir (Lee *et al.*, 2014).

4 KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penetrasi cahaya yang masuk kedalam kolom perairan pada zona eufotik mencapai 28,75 – 30,67 m. Model estimasi produktivitas primer berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a citra satelit Landsat-8 dapat dihitung menggunakan persamaan $PP = 46,376 + 33,204Chl_{sat}$. Model persamaan tersebut dapat digunakan untuk analisis spasial citra satelit, untuk mengestimasi produktivitas primer di suatu wilayah menggunakan citra satelit Landsat-8.



Gambar 3-5:(a) Hubungan antara konsentrasi klorofil-a citra satelit dengan produktivitas primer (b) model hubungan produktivitas primer estimasi dengan *insitu*.

DAFTAR RUJUKAN

- American Public Health Association [APHA], 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 22st edition. Washington (US): APHA.
- Asriyana dan Yuliana, 2012. *Produktivitas Perairan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Balch, W., Evan, R. Brown, J. Feldman, G. McClan, C. and Esaias, W., 1992. *The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation of Test Algorithms*. Journal of Geophysical Research. Vol 97. C2: 2279-2293.
- Behrenfeld, M.J. and Falkowski, P.G., 1997. *Photosynthetic Rates Derived from Satelit_Based Chlorophyll Concentration*. Limnology and Oceanography, 42: 1-20.
- Behrenfeld M.J, Maranon E, Siegel DA, Hooker SB, 2002. *Photoacclimation and Nutrient-Based Model of Light-Saturated Photosynthesis for Quantifying Oceanic Primary Production*. Marine Ecological Progress. 228: 103-117.
- Campbell J., Antonie D., Armstrong R., Arrigo K., Balch W., Barber R., Behrenfeld M., Bidigare R., Bishop J., Carr M.E et al., 2002. *Comparison of Algorithm for Estimating Ocean Primary Production from Surface Chlorophyll, Temperature and Irradiance*. Global biogeochemical Cycle. 16(3): 1035.
- Eppley R.W, Stewart, E., Abbott M.R., Heyman U., 1985. *Estimating Ocean Primary Production fro Satellite Chlorophyll*. Introduction to regional differences and stastistics for Southern California Bight. Journal of Plankton Ressearch Vol 7. 1: 57 – 70.
- Hill, V.J, and Zimmerman, R.C., 2010. *Estimates of Primary Production by Remote Sensing in the Arctic Ocean: Assessment of Accuracy with Passive and Active Sensors*. Deep Sea Research I, 57: 1243–1254.
- Hill, V.J, Matrai; P.A, Olson, E. Suittles; S., Codispoti; L.A. Zimmerman, R.C., 2013. *Synthesis of Integrated Primary Production in the Artic Ocean: II. In situ and Remotely Sensed Estimates*. Progress in Ocenanography 1(10): 107-125.
- Hirawake, T.; Shinmyo, K.; Fujiwara, A., Saitoh; S., 2012. *Satellite Remote Sensing of Primary Productivity in Bering and Chuchi Sea using an Absorption based Approach*. Journal Marine Science. 69(7): 1194-1204.
- Jaelani MJ, Setiawan F.; Wibowo H., Apip, 2015. *Pemetaan Distribusi Spasial Kosentrasi Llorofil-a dengan Landsat-8 di danau Matano dan danau Towuti, Sulawesi Selatan*. Prosiding pertemuan tahunan masyarakat ahli penginderaan jauh Indonesia (MAPIN) XX. 2015 Feb 5-6; Bogor (ID): MAPIN.
- Kirk JTO, 2011. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Third Edition. New York: Cambridge University Press.
- Kuring N., Lewis MR, Platt T., O'reilly JE., 1990. *Satellite Derived Estimates of Primary Production on the Northwest Atlantic Continental Shelf*. Cont Shelf Res. 10(5):461 – 484.
- Lee, Z.P., Marra, J., Perry, M.J. and Kahru, M., 2014. *Estimating Oceanic Primary Productivity from Ocean Color Remote Sensing: A Strategic Assesment*. Journal of Marine Systems 149: 50-59.
- Ma S., Tao Z., Yang X., Member, IEEE, Yu Y., Zhou X., Ma W, Li Z.. 2014. *Estimation of Marine Primary Productivity from Sattelite-Derived Phytoplankton Absorption Data*. IEEE J Select Topics Apl Earth Observ Remote Sens., 7(7): 3084-3092.
- Nuzapril, M., Susilo, S.B., Panjaitan, J.P., 2017. *Hubungan antara Konsentrasi Klorofil-a dengan Tingkat Produktivitas Primer menggunakan Citra Satelit Landsat-8*. 8(1): 105 – 114.

- Parson, T.R., Takahashi, M., and Hargrave, B., 1984. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press. New York.
- Sathyendranath S., Platt T.. 1989. *Computation of Aquatic Primary Production: Extended Formalism to Include Effect of Angular and Spectral Distribution of Light*. *Limnol Oceanogr.* 34: 188-198.
- Siswanto, E., Ishizaka, J., and Yokouchi, K., 2005. *Estimating Chlorophyll-a Vertical Profiles from Satellite Data and the Implication for Primary Productivity in the Kuroshio Front of the East China Sea*. *Journal of Oceanography*. Vol 61. 575-589.
- Susilo, S.B., 1999. *Konsentrasi Klorofil-a Sebagai Penduga Produktivitas Primer Perairan*. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*. 6(2): 73-82.
- Susilo, S.B., Adkha, I., dan Damar, A., 1995. *Penggunaan Data Citra Landsat-TM Hasil Olahan Digital untuk Pendugaan Sebaran Horizontal Produktivitas Primer di Perairan Kabupaten Subang, Jawa Barat*. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, 3(1): 57 – 63.
- Tillman U., Hesse KJ., Colijn F., 2000. *Planctonic Primary Production in the German Wadden Sea*. *Journal of Plankton Research*. 22(7): 1253-1276.
- USGS, 2015. *Landsat-8 Data Users Handbook*. Department of interior. U.S. Geological Survey. Landsat-8 Version 1.0.
- Vernet, M., and Smith, RC., 2007. *Measuring and Modeling Primary Production in Marine Pelagic Ecosystems*. Oxford University Press: 161-167.
- Zhang, C., and Han, M., 2015. *Mapping Chlorophyll-a Concentration in Laizhou Bay Using Landsat-8 OLI data*. *Proceedings of the 36th IAHR World Congress*. Netherland.