

KELAYAKAN PENGGUNAAN DATA SUHU PERMUKAAN LAUT AVHRR PATHFINDER DAN AQUA MODIS DI PERAIRAN PASIFIK BARAT WARM POOL

FEASIBILITY OF USING AVHRR PATHFINDER AND AQUA MODIS SEA SURFACE TEMPERATURE DATA IN WESTERN PACIFIC WATERS WARM POOL

Harold J D Waas^{1*}, Simon Tubalawony², Ronald D Hukubun³

^{1,2,3}Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura,
Kota Ambon, 97233, Indonesia

*E-mail: harold.waas@fpik.unpatti.ac.id

ABSTRAK

Kelayakan penggunaan data set citra AVHRR Pathfinder Day and Night dan Aqua MODIS (SST_{Skin}) sebagai model telah diuji melalui validasi data in situ $SST(SST_{Bulk})$ Triton Bouy Mooring yang terekam pada kedalaman 1,5 meter di bawah air permukaan laut selama periode monsun barat (2002 - 2003 tahun) di *Warm Pool* Pasifik Barat. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun resolusi spasial yang berbeda, akurasi dan variasi pengukuran SST_{Skin} kedua model relatif sama dan memiliki korelasi yang kuat dengan SST_{Bulk} (AVHRR RMSE = 0,51°C, Cv = 2%, r = 0,63 ; MODIS RMSE = 0,55 °C, Cv = 2% , r = 0,84) dan berada pada kisaran sintesis penelitian sebelumnya di perairan yang berbeda. Respons AVHRR dan MODIS SST_{Skin} terhadap SST_{Bulk} sangat berbeda di mana MODIS SST_{Skin} selalu lebih besar dari SST_{Bulk} (Bias ± STD ; 0,72 ± 0,44 °C). Kecepatan angin > 3 m/s meningkatkan kedua nilai SST_{Skin} and SST_{Bulk} sebaliknya kecepatan angin < 2.5 m/s menyebabkan efek pendinginan pada permukaan. Periode peningkatan SST_{Skin} akan terjadi di bawah pengaruh anomali angin barat (WWBs) atau anomali angin timur (EWBs). Tidak seperti MODIS, AVHRR SST_{Skin} selalu lebih rendah dari SST_{Bulk} (Bias ± STD; -0.14 ± 0.69 °C) dan $SST_{Skin} >$ hanya terjadi di bawah pengaruh WWBs dan EWBs. Hasil uji Test-t (paired) pada selang kepercayaan 95% menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara hasil pengukuran model dengan SST_{Bulk} in situ diindikasikan oleh $t_{cal} < t_{tab}$ (AVHRR $t_{cal} = -1.383 < t_{tab} = 2.010$; MODIS $t_{cal} = -4.133 < t_{tab} = 2.010$). Dengan demikian, kedua data model dapat digunakan untuk penelitian oseanografi dan aplikasi lainnya menggunakan SST sebagai parameter kunci di perairan tersebut.

Kata kunci : AVHRR Pathfinder Day and Night, Aqua MODIS, Triton Buoy Mooring, Warm Pool SST_{Bulk} , SST_{Skin}

ABSTRACT

The Feasibility of using the data sets imagery of AVHRR Pathfinder Day and Night algorithm and Aqua MODIS (SST_{Skin}) as a model has been tested through validation with in situ $SST(SST_{Bulk})$ Triton Bouy Mooring recorded at a depth of 1.5 meters below sea surface water during west monsoon period (2002 to 2003 years) in the waters of the Western Pacific Warm Pool. Results of analysis showed that although different spatial resolution, accuracy and variation of measurement SST_{Skin} both models are relatively similar and have a strong correlation with SST_{Bulk} (AVHRR RMSE = 0.51°C, Cv = 2%, r = 0.63 ; MODIS RMSE = 0.55 °C, Cv = 2%, r = 0.84) and RMSE values in the range of synthesis of previous

research in different waters. AVHRR and MODIS SST_{Skin} response against to SST_{Bulk} very differently where MODIS SST_{Skin} always $> SST_{Bulk}$ (Bias \pm STD ; 0.72 ± 0.44 °C) and wind speed > 3 m/s increase value of both SST_{Skin} and SST_{Bulk} contrary wind speed < 2.5 m/s would cause a cooling effect on the skin. A period of increased SST_{Skin} will occur under the influence of Westerly Wind Burst (WWBs) or Easterly Wind Burst (EWBs). Unlike the MODIS, AVHRR SST_{Skin} always $< SST_{Bulk}$ (Bias \pm STD; -0.14 ± 0.69 °C) and $SST_{Skin} > SST_{Bulk}$ only occur under the influence of WWBs and EWBs. The results of the Test-t (paired) at the 95% confidence interval shows that there is no significant difference between the results of the measurements of the model with SST_{Bulk} in situ indicated by $t_{cal} < t_{tab}$ (AVHRR $t_{cal} = -1.383 < t_{tab} = 2.010$; MODIS $t_{cal} = -4.133 < t_{tab} = 2.010$). Thus, the data set models can be used for oceanographic research and other applied using the SST as a key parameter in these waters.

Keyword AVHRR Pathfinder Day and Night, Aqua MODIS, Triton Buoy Mooring, Warm Pool SST_{Bulk} , SST_{Skin}

PENDAHULUAN

Oseanografi merupakan salah satu bidang yang mempelajari proses-proses yang terjadi di laut diantaranya interaksi antara kehadiran, distribusi dan recruitment sumber daya ikan dan penangkapannya sebagian besar memanfaatkan data suhu permukaan laut (SPL). Sintesa Santos (2000) tentang pengaruh faktor lingkungan terhadap organisme perairan yang mengacu pada Chusing (1975), Laevastu dan Hella (1970), Tomczak (1977) , Sund *et al.*(1981) menyimpulkan bahwa tidak diragukan lagi suhu air dan fluktuasinya adalah parameter lingkungan banyak digunakan dalam investigasi hubungan antara lingkungan, tingkah laku ikan dan kelimpahan. Sebanyak 63% berhubungan dengan parameter perikanan dan SPL dan meningkat 83% jika berhubungan dengan suhu air dekat dasar dan gradien suhu.

Hasil sintesa ini jelas menyiratkan bahwa informasi SPL sangat penting dalam operasional oseanografi perikanan karena SPL dapat digunakan sebagai indikator tidak secara langsung area dari konsentrasi makanan ikan, yang juga zona potensial yang menguntungkan untuk agregasi ikan. Preferensi ini disebabkan karena beberapa alasan, terutama karena suhu tidak hanya yang paling mudah diobservasi, tetapi juga berguna sebagai indikator penting proses di laut seperti *coastal upwelling*, adveksi, *fiture mesoscale* dinamik termasuk *front* dan *eddies*, dan lainnya (Bakun, 2006 ; Sabaros *et al.*, 2009).

SPL pada era ini dapat diperoleh melalui hasil liputan satelit secara sinoptik diantaranya sensor AVHRR dan MODIS yang tersedia dalam berbagai bentuk level pengolahan, variasi waktu liputan dan akurasi yang tinggi serta dapat diakses langsung melalui Live Access Server dalam berbagai bentuk tipe file. Kualitas akurasi pengukuran SPL sensor AVHRR dan MODIS sangat bergantung dari algoritma yang digunakan seperti *Pathfinder day and night* (AVHRR) dan Long wave SST (MODIS). Namun demikian, dalam penerapannya di suatu perairan perlu di validasi lagi untuk menguji kevalidan algoritma SPL yang digunakan dengan pertimbangan bahwa data *in situ* yang digunakan untuk membangun algoritma SPL untuk kedua jenis satelit belum mewakili area perairan secara keseluruhan dan setiap perairan memiliki karakteristik yang berbeda bergantung pada kondisi oseanografi yang mengontrolnya.

Perairan Pasifik Barat Warm Pool merupakan salah satu perairan yang dicirikan oleh SPL yang tinggi ($>28^{\circ}\text{C}$) dari perairan global lainnya tetapi miskin fitoplankton (Christian *et al.*,2004) dan merupakan perairan penghasil 59 % ikan tuna dari total tangkapan tuna dunia dimana Skipjack 65%, Yellowfin 25% dan Bigeye 6% (ISSF Technical Report, 2012). Dengan adanya perkembangan armada penangkapan *purse seine* Indonesia dan Phillipina maka kawasan

perairan segitiga Phillipina - Indonesia – New Guine mampu menghasilkan 20 – 25% hasil tangkapan Skipjack tuna dari total hasil tangkapan WCPO (Lehodey *et al.*, 2003). Kenyataan ini mengisyaratkan bahwa kehadiran tuna berhubungan dengan kehadiran makanan tuna (*forage*) yang tentunya didukung oleh kondisi lingkungan yang memadai.

Kehadiran tuna di perairan ini dimungkinkan oleh adanya fitur spesifik seperti *eddies*, *thermal front*, front klorofil-a dan equatorial upwelling turut berperan dalam meningkatkan kesuburan perairan oseanik Pasifik Barat Warm Pool (Helber dan Weisberg, 2001 ; Ganachaud *et al.*,2011). Demikian juga fenomena *coastal upwelling* di utara kontinent Papua (Hasegawa *et al.*,2009) dan *upwelling* di Pasifik Barat (Kozai *et al.*,2004) turut meningkatkan kesuburan perairan sehingga mampu menopang dan mempertahankan keberlangsungan perikanan tuna komersil di perairan tersebut. Faktor-faktor spesifik oseanografi ini seperti telah dijelaskan sebelumnya dapat dideteksi atau diamati melalui sensor satelit AVHRR dan MODIS.

Berdasarkan uraian di atas maka tulisan ini bertujuan untuk mengkaji kelayakan pemakaian data set citra Suhu Permukaan Laut (SPL_{Skin}) yang dihasilkan oleh sensor AVHRR dan Aqua MODIS melalui validasi SPL_{Bulk} *in situ* perairan Pasifik Barat Warm Pool. Diharapkan kedua model SPL_{Skin} ini dapat digunakan di kawasan perairan ini maupun di lingkungan perairan lainnya untuk tujuan studi oseanografi dan aplikasinya yang berhubungan langsung dengan SPL sebagai parameter kuncinya.

BAHAN DAN METODE

Data set yang digunakan sebagai model adalah Data set bulanan SPL_{Skin} NOAA-17/18 AVHRR (GAC) dengan resolusi spasial 4 km dan akurasi $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$; Data set bulanan Aqua MODIS (LAC) dengan resolusi spasial 2.7 km dan akurasi $\pm 1^{\circ}\text{C}$ liputan Desember 2002 – Maret 2003 yang koleksi melalui The Environmental Research Division's Data Access Program diakses melalui website <http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>; data set SPL_{Bulk} *in situ* perairan yang direkam oleh Triton Buoy Mooring pada kedalaman 1.5 m di bawah permukaan laut dengan akurasi pengukuran $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$; Data set kecepatan angin permukaan (u) yang direkam oleh sensor angin pada ketinggian 3.5 m di atas permukaan laut dengan akurasi pengukuran ± 0.3 m/s pada waktu yang bersamaan dengan liputan satelit. Data diperoleh melalui website <http://www.pmel.noaa.gov/tao/jsdisplay> ; Perangkat lunak ArcGIS versi 10`8 ; SPSS versi 21 dan microsoft Excel versi 2010.

Data set SPL_{Skin} NOAA-17/18 AVHRR yang digunakan merupakan hasil penerapan algoritma *Pathfinder day and night* mengacu pada Walton *et al.* (1998) dan Kilpatric *et al.*(2001) dengan bentuk persamaan :

$$SST_{sat} = a + bT_4 + c(T_4 - T_5)SPL_{guess} + d(T_4 - T_5)(\sec(\rho) - 1)$$

dimana,

SST_{sat} = SPL estimasi satelit

T_4, T_5 = *brightness temperature* channel 4 dan 5

SPL_{guess} = *first-guess* SPL value

ρ = sudut zenith satelit

a,b,c,d = koefisien yang diestimasi dari analisis regresi menggunakan pengukuran *in situ* dan satelit.

SPL yang dihasilkan oleh satelit Aqua MODIS menggunakan algoritma “Long Wave SST” yang memanfaatkan *channel* 31 dan 32 pada panjang gelombang 11 μm dan 12 μm berdasarkan perbedaan *brightness temperature* (Brown *et al.*, 2000) dengan bentuk persamaan :

$$\text{SST} = a_{00} + a_{01} * BT + a_{02} * dBT * bSST + a_{03} * dBT * (1.0/\mu - 1.0)$$

untuk, $dBT \leq 0.5$

$$\text{SST} = a_{10} + a_{11} * BT_{11} + a_{12} * dBT * bSST + a_{13} dBT * (1.0/\mu - 1.0)$$

untuk, $0.5 < dBT < 0.9$

$$\text{SST}_{lo} = a_{00} + a_{01} * BT_{11} + a_{02} * dBT * bSST + a_{03} * dBT * (1.0/\mu - 1.0)$$

$$\text{SST}_{hi} = a_{10} + a_{11} * BT_{11} + a_{12} * dBT * bSST + a_{13} * dBT * (1.0/\mu - 1.0)$$

$$\text{SST} = \text{SST}_{lo} + (dBT - 0.5)/(0.9 - 0.5) * (\text{SST}_{hi} - \text{SST}_{lo})$$

$$dBT = BT_{11} - BT_{12}$$

dimana ;

BT_{11} = brightness temperature pada 11 μm , dalam $^{\circ}\text{C}$

BT_{12} = brightness temperature pada 12 μm , dalam $^{\circ}\text{C}$

$bSST$ = baseline SST, dimana SST_4 (jika valid) atau SST_{ref} (dari $oiSST$)

μ = cosine atau sudut zenith sensor

Analisis data dilakukan meliputi (1) Analisis Root mean Square Error (RMSE) dan koefisien variance $Cv(\%)$ untuk menentukan akurasi antara SPL_{Skin} model dengan SPL_{Bulk} *in situ* dengan bentuk persamaan (Walpole *et al.*, 2012) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{mod,i})^2}{n}}$$

dimana ;

n = Jumlah pasangan observasi

X_{obs} = SPL_{Bulk} *in situ*

X_{model} = SPL_{Skin} AVHRR atau Aqua MODIS

$$Cv(\%) = \frac{RMSE}{\bar{X}} * 100\%$$

dimana ;

\bar{X} = rerata SPL_{Bulk} *in situ*

Bias = $SPL_{Skin} - SPL_{Bulk}$

SPL_{Bulk} = SPL *in situ* yang diukur *mooring* pada kedalaman 1.5 m dari permukaan laut

(2) Analisis regresi linier antara SPL_{Skin} dan SPL_{Bulk} *in situ* menggunakan nilai koefisien korelasi hasil perhitungan Uji-t sampel berpasangan (*Paired*) menggunakan perangkat lunak SPSS atau menggunakan microsoft excel.

(3) Statistik Uji-t (*Paired*) dilakukan pada selang kepercayaan 95% untuk menguji hipotesa H_0 bahwa tidak ada perbedaan antara hasil pengukuran SPL model dengan SPL *in situ* perairan Pasifik Barat Warm Pool. Pengambilan keputusan mengacu pada kriteria :

$T_{hit} > T_{tab}$, ada perbedaan signifikan (tolak H_0)

$T_{hit} < T_{tab}$, tidak ada perbedaan signifikan (terima H_0)

t_{hit} diperoleh melalui bentuk persamaan :

$$t_{hit} = \frac{D}{(SD/\sqrt{N})}$$

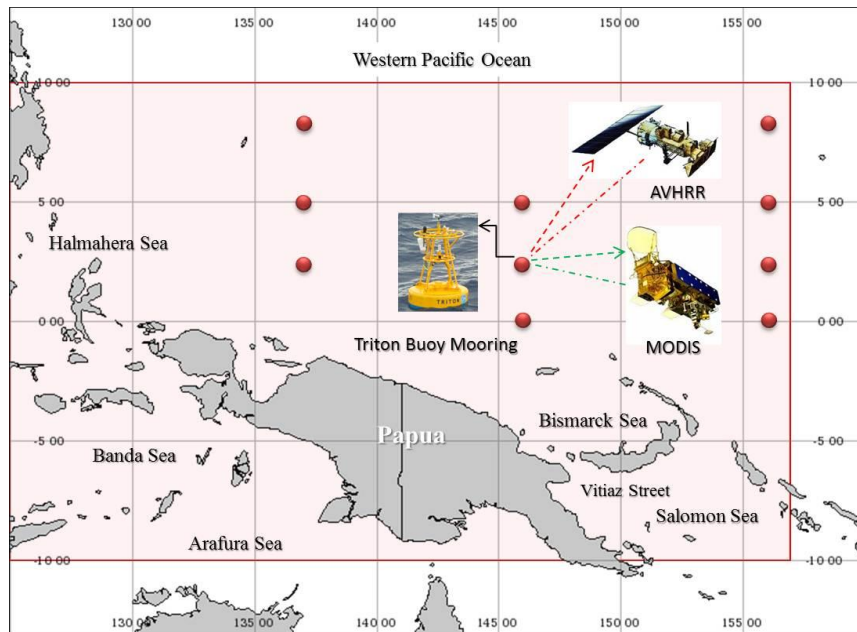
dimana :

D = Rerata selisih dua mean

SD = Standard deviasi

N = Jumlah sampel

Untuk memudahkan dalam proses perhitungan Uji-t maka analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS sedangkan untuk menggambarkan grafik distribusi $SPL_{Skin-Bulk}$ dan kecepatan angin menggunakan Microsoft Excel. Perangkat lunak ArcGIS digunakan untuk menampilkan citra SPL_{Skin} dari bentuk ascii kedalam bentuk raster dan di overlay dengan posisi *mooring*. Nilai SPL_{Skin} citra pada setiap posisi mooring diekstrak dan bersama-sama dengan SPL_{Bulk} *in situ* untuk analisis statistik Uji-t. Lokasi stasiun sampling dan diagram alir analisis disajikan dalam Gambar 1 & 2.



Gambar 1. Peta lokasi stasiun sampling SPL



HASIL DAN BAHASAN

Data Set SPL_{Skin} Pathfinder dan Aqua MODIS NOAA CoastWatch

Data set SPL_{Skin} penerapan algoritma *Pathfinder* versi 5.0 satelit NOAA-17/18 sebagai model adalah data kualitas tinggi yang tersedia untuk banyak wilayah perairan di dunia, dan direkomendasikan pemakaiannya untuk semua aplikasi ilmiah, kecuali daerah yang sangat dekat dengan pantai. Data set diproduksi oleh NOAA, NODC, Universitas Miami dan NASA Jet Propulsion Laboratory di Institut Teknologi California.

Pemrosesan SPL_{Skin} *Pathfinder* menggunakan versi modifikasi dari algoritma SPL non-linier (Kilpatrick *et al.*, 2001). Perubahan dalam algoritma meliputi perbaikan koreksi atmosfer, keunggulan dalam masking awan, dan perhitungan bulanan dari koefisien - koefisien algoritma berdasarkan kesesuaian data base pengukuran SPL *in situ* (*mooring* dan *drifting buoy*) (Donlon *et al.*, 2002). Data SPL tersedia dalam resolusi spasial 4 km dengan akurasi pengukuran ± 0.3 °C. Data dipetakan pada sudut grid yang sama 0.05° *latitude* dan 0.05° *longitude* menggunakan aritmetika sederhana untuk menghasilkan citra tunggal dan komposit dari interval waktu yang berbeda (contohnya 8 harian dan bulanan). Citra komposit dibuat dengan hanya menggunakan pixel dengan kualitas terbaik.

Pengukuran SPL_{Skin} dari sensor MODIS pada satelit NASA Aqua dan pemrosesan citra SPL_{Skin} dilakukan oleh NASA Goddard Space Flight Center. Radiasi yang keluar dari air (Water leaving radiance) dikumpulkan oleh sensor MODIS dan diproses untuk menghasilkan SPL oleh Goddard Ocean Biology Processing Group (OBPG) menggunakan perangkat lunak multi-sensor level-1 ke level-2 (msl12) (SEADAS), perangkat lunak yang sama digunakan untuk memproses data ocean color MODIS. Rincian pengolahan SPL MODIS dapat diakses melalui http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/modis_sst/.

Pemrosesan SPL_{Skin} MODIS oleh OBPB sesuai versi sebelumnya yang dikembangkan oleh University of Miami Rosenstiel School of Marine Science and Atmospheric Science (Brown and Minnet,1999). Data set SPL MODIS hanya menggunakan sumber data liputan siang hari, yang tersedia dengan masking awan dengan kualitas yang lebih tinggi dari liputan malam hari. Resolusi spasial data SPL 2.7 km untuk wilayah perairan Pasifik dengan akurasi $\pm 1^\circ C$, dan nilai-nilai SPL divalidasi dengan membandingkan SPL hasil rekaman Buoy dari Data Nasional Buoy Center. Data dipetakan pada sudut grid yang sama $0,025^\circ latitude$ dan $0.025^\circ longitude$ menggunakan aritmatika sederhana untuk menghasilkan citra komposit dari interval waktu yang berbeda (1, 3, 8, 14 hari, dan bulanan).

Validasi Uji Kelayakan Data Set Citra SPL_{Skin} Model

Hasil analisis statistik untuk mengkaji kelayakan antara data set citra SPL sensor AVHRR dan MODIS sebagai SPL model (SPL_{Skin}) dengan SPL *in situ* (SPL_{Bulk}) yang diukur pada kedalaman 1.5 meter di perairan Pasifik Barat *Warm Pool* pada posisi *mooring* ($137^\circ E ; 8^\circ N$), ($137^\circ E ; 5^\circ N$), ($137^\circ E ; 2^\circ N$), ($147^\circ N ; 5^\circ N$), ($147^\circ E ; 2^\circ N$), ($147^\circ E ; 0$), ($156^\circ E ; 8^\circ N$), ($156^\circ E ; 5^\circ N$), ($156^\circ E ; 2^\circ N$), dan ($156^\circ E ; 0$) tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter statistik uji kelayakan

| SENSOR | Parameter Statistik | | | | | | | |
|---------------|---------------------|------|----|------|-----------|-----------|-------------|------------|
| | r | RMSE | Cv | Bias | t_{hit} | RMSE | | |
| | | | | | | Observasi | Others | CoastWatch |
| AVHRR | 0.63 | 0.51 | 2 | 0.10 | -1.383 | 0.51 | 0.50 – 0.60 | ± 0.3 |
| MODIS | 0.84 | 0.55 | 2 | 0.30 | -4.133 | 0.55 | 0.20 - 2.70 | ± 1.0 |
| AVHRR & MODIS | 0.74 | 0.52 | 2 | 0.20 | -3.858 | | | |

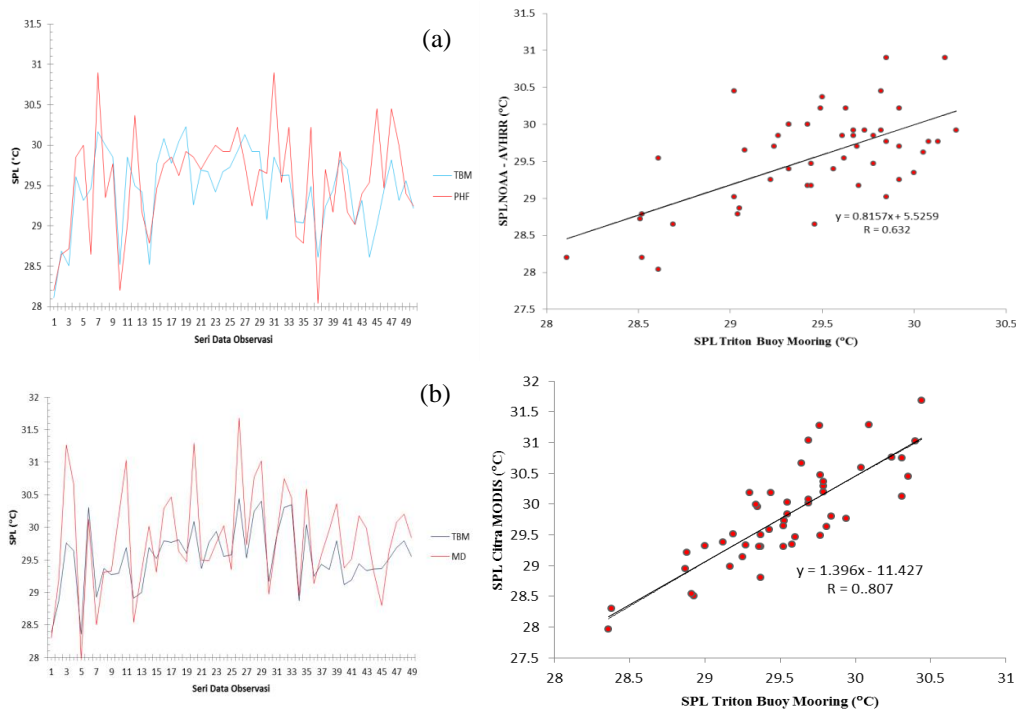
Keterangan : Others = Peneliti lain ; RSME ($^\circ C$) ; Cv(%) ; Bias ($^\circ C$)

Dari Tabel 1 jelas bahwa AVHRR dan MODIS memiliki SPL_{Skin} yang berkorelasi kuat dengan SPL_{Bulk} , akurasi dan bias pengukuran yang tidak jauh berbeda. Namun jika dicermati secara spesifik ternyata SPL_{Skin} sensor MODIS memiliki nilai korelasi yang lebih tinggi tetapi akurasi dan bias pengukuran SPL_{Skin} lebih rendah dari AVHRR. Pola yang sama juga ditemukan oleh Brown *et al.*(2000) dan Madhavan *et al.* (2013) bahwa sensor MODIS selain memiliki korelasi yang tinggi dengan SPL juga memiliki kesalahan yang tinggi jika dibandingkan dengan sensor AVHRR. Perbedaan ini terjadi mungkin disebabkan oleh aerosol dan efek partikel atmosfer (Kwiatkowska *et al.*, 2008). Secara keseluruhan AVHRR dan MODIS memiliki korelasi yang tinggi ($r = 0.74$) dengan SPL_{Bulk} *in situ* dan keduanya memiliki nilai akurasi yang berada pada kisaran nilai sintesa RMSE dari peneliti sebelumnya pada beberapa perairan yang berbeda (Strong dan McClain, 1984 ; Kumar *et al.*, 2000 ; Donlon *et al.*, 2002 ;

Lei Guan dan Kawamura, 2003 ; Lee *et al.*, 2010 ; Hosoda *et al.*, 2007 ; Qiu *et al.*, 2009 ; Madhavan *et al.*, 2013).

Analisis juga menunjukkan bahwa walaupun nilai akurasi model SPL_{Skin} AVHRR dengan SPL_{Bulk} *in situ* masih berada pada kisaran nilai RMSE umumnya, namun akurasinya sedikit lebih rendah dari akurasi algoritma SPL model. Sebaliknya, SPL_{Skin} yang dihasilkan oleh sensor MODIS selain memiliki akurasi yang berada pada kisaran nilai sintesa RMSE, juga lebih tinggi dari akurasi algoritma yang digunakan model. Hal ini mengisyaratkan bahwa akurasi model SPL_{Skin} rekaman sensor MODIS lebih rendah dari AVHRR namun kemampuan resolusi spasialnya yang tinggi memberikan informasi SPL lebih detail jika dibandingkan dengan resolusi spasial AVHRR. Ini artinya, luasan pixel 7.29 km^2 akan memberikan informasi SPL yang lebih akurat dari luasan pixel 18 km^2 .

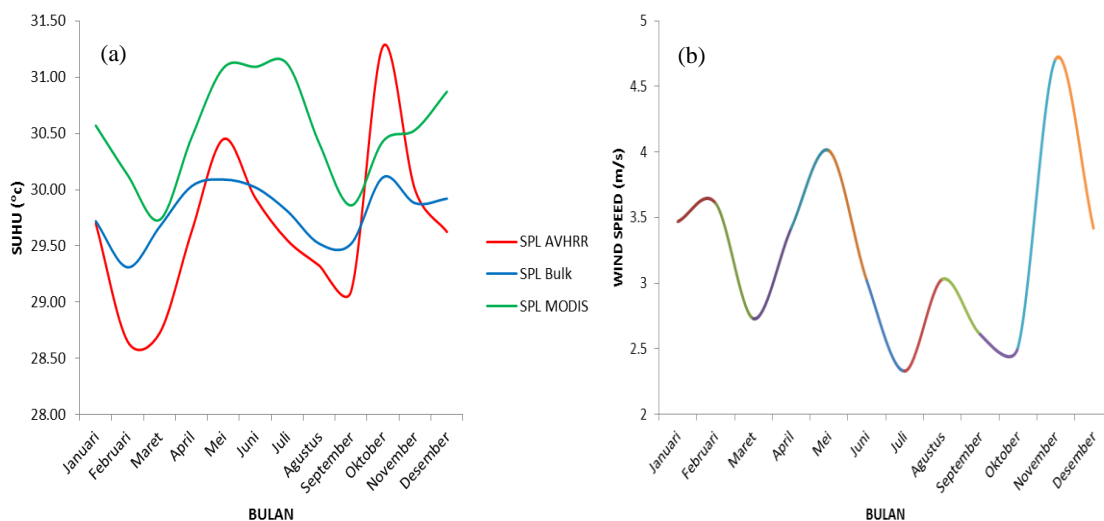
SPL_{Skin} deteksi sensor satelit dan SPL_{Bulk} *in situ* memiliki kemiripan pola distribusi walaupun terdapat variasi nilai yang dihasilkan seperti tersaji pada Gambar 3. Dari gambar tampak variasi SPL_{Skin} hasil pengukuran kedua model berada pada kisaran $27.97 - 31.68 \text{ }^\circ\text{C}$ sedangkan variasi SPL_{Bulk} berkisar antara $28.11 - 30.44 \text{ }^\circ\text{C}$. Variasi nilai SPL satelit maupun lingkungan tidak jauh berbeda dengan kisaran nilai SPL_{Bulk} $27.10 - 31.90 \text{ }^\circ\text{C}$ hasil rekaman *mooring* selama tahun 2001 – 2009 pada 3 stasiun tegak lurus kontinent Papua (137°E ; 8°N), (137°E ; 5°N), (137°E ; 2°N). Besarnya variasi SPL_{Skin} dan SPL_{Bulk} ditunjukkan oleh nilai koefisien variasi yang rendah dan tidak berbeda untuk kedua model maupun gabungannya (lihat Tabel 1). Hal ini mengisyaratkan bahwa SPL_{Skin} yang dideteksi satelit memiliki nilai variasi pengukuran yang rendah dan tidak jauh berbeda dengan nilai variasi SPL_{Bulk} *in situ*.



Gambar 3. Distribusi SPL_{Skin} model (a) NOAA-17/18 AVHRR , (b) Aqua MODIS dengan SPL_{Bulk}

Variasi ini dapat saja terjadi karena pengukuran SPL_{skin} oleh satelit dilakukan melalui sensor inframerah yang diestimasi dari radiasi balik gelombang inframerah pada panjang gelombang (λ) 3.7 – 12 μm akan mengalami attenuasi di air pada kedalaman 10 μm dan selama perjalanannya untuk direkam oleh sensor satelit. Sementara itu, SPL_{Bulk} diukur pada kedalaman 1.5 m memungkinkan ketidak sesuaian antara SPL_{bulk} dengan SPL_{skin} yang direkam satelit.

Analisis karakteristik respons variasi SPL_{Skin} model terhadap SPL_{Bulk} lebih mendalam dapat dijelaskan melalui analisis data time series SPL_{Skin} , SPL_{Bulk} *in situ* dan kecepatan angin permukaan (u) *in situ* Tahun 2003. Hasil analisis yang tersaji pada Gambar 3ab menunjukkan bahwa variasi SPL_{Skin} kedua model dengan SPL_{Bulk} memiliki pola yang berbeda dan variabilitasnya sangat bergantung dari kecepatan angin permukaan. Gambar 4ab jelas menunjukkan pula bahwa SPL_{Skin} MODIS cenderung memiliki nilai suhu yang lebih tinggi dari SPL_{bulk} dimana Bias \pm STD ; $0.72 \pm 0.44^\circ\text{C}$ atau bias positif sepanjang tahun. Kecepatan angin permukaan (u) >3 m/s meningkatkan nilai $SPL_{Skin-Bulk}$ dan sebaliknya akan menurun pada saat $u < 3$ m/s dan jika $u < 2.5$ m/s akan menyebabkan efek pendinginan pada *Skin* berlanjut (Donlon *et al.*,2002). Periode peningkatan $SPL_{Skin-Bulk}$ akan terjadi dibawah pengaruh *Westerly Wind Burst (WWBs)* maupun *Easterly Wind Burst (EWBs)* dengan $u >4$ m/s. Berbeda dengan MODIS, SPL_{Skin} AVHRR memiliki nilai suhu lebih rendah dari SPL_{Bulk} dimana Bias \pm STD ; $-0.14 \pm 0.69^\circ\text{C}$ atau bias negatif sepanjang tahun. $SPL_{Skin} > SPL_{Bulk}$ terjadi selama anomali kecepatan angin $u > 4$ m/s pada saat berlangsungnya *WWBs* dan *EWBs* di perairan Pasifik Barat *Warm Pool*. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh Qiu *et al.*(2009) dalam penelitiannya di perairan utara Laut Cina Selatan ternyata AVHRR memiliki nilai bias negatif untuk siang dan malam hari masing-masing $-0.43 \pm 0.6^\circ\text{C}$ dan $-0.33 \pm 0.79^\circ\text{C}$, demikian juga Aqua MODIS memiliki nilai bias positif sepanjang tahun dan RMSE yang besar berhubungan dengan bias positif yang besar (0.45°C) di perairan sekitar Taiwan (Lee *et al.*,2010). Nilai bias yang berbeda dari kedua sensor diduga disebabkan oleh faktor pemanasan diurnal yang bersesuaian dengan waktu perekaman SPL oleh satelit. AVHRR merekam SPL_{Skin} pukul 7:30 AM dengan intensitas radiasi matahari yang rendah menyebabkan $SPL_{Skin} < SPL_{Bulk}$, sebaliknya rekaman Aqua MODIS pukul 13:30 PM dimana perairan Pasifik Barat menerima intensitas radiasi matahari maksimum menyebabkan nilai $SPL_{Skin} > SPL_{Bulk}$.



Gambar 4. (a) Variabilitas SPL_{Skin} AVHRR & MODIS dan SPL_{Bulk} *in situ* ; (b) Kecepatan angin (u) di perairan Pasifik Barat *Warm Pool*.

Variabilitas $SPL_{skin-bulk}$ yang disebabkan oleh kecepatan angin (u) dalam penelitian ini dikuatkan oleh hasil penelitian yang valid sebelumnya bahwa $u < 6$ m/s secara signifikan meningkatkan SPL_{Skin} yang diukur oleh sensor satelit sebaliknya $u > 6$ m/s menyebabkan peningkatan $SPL_{Skin-Bulk}$ dan menghilangkan stratifikasi di kolom air permukaan (Donlon *et al.*, 2002 ; Hosoda *et al.*, 2007 ; Madhavan *et al.*, 2013). Demikian juga variabilitas SPL_{Skin} terjadi selama siklus diurnal SPL ketika angin dengan kecepatan < 6 m/s menyebabkan perbedaan ($SPL_{Skin} - SPL_{Bulk}$) positif. Kecepatan angin yang rendah dan kondisi langit cerah dimana radiasi matahari yang tinggi dipermukaan meningkatkan amplitude diurnal suhu permukaan laut dan suhu *bulk-Skin* berbeda (Qhiu *et al.*, 2009).

Dalam kasus Gambar 3 rendahnya SPL_{Skin} model dan lingkungan ($< 28^{\circ}C$) selama periode data (Desember – Maret ; 2002, 2005, 2006) diduga berkaitan dengan proses pendingin SPL dampak dari coastal upwelling dan Rossby wave yang terjadi dibawah pengaruh angin barat dan anomalnya. Selama periode tersebut, *Westerly Wind Burst*/WWBs dengan kecepatan > 4 m/s mampu mengaduk perairan Pasifik Barat *Warm Pool* sehingga kedalaman *mixed layer* lebih dari 100 m hanya dalam beberapa hari (Ganachaud *et al.*, 2011). Artinya $SPL_{Skin-Bulk}$ akan mengalami peningkatan untuk kedua model karena stratifikasi menghilang dan suhu perairan lebih hangat karena pencampuran yang kuat. Hal ini mempengaruhi nilai pengukuran SPL_{Skin} AVHRR dimana tidak berbeda dengan SPL_{Bulk} yang dinyatakan oleh nilai bias positif. Namun, di beberapa bagian perairan di bawah lintang $2^{\circ}N$ di utara kontinent Papua - Equator $SPL_{Skin-Bulk}$ lebih rendah diakibatkan oleh pengaruh massa air coastal upwelling yang di hasilkan oleh transport Ekman dan anomali NGCUC yang menumpukan massa air dingin di equator selama berlangsungnya WWBs (Kozai *et al.*, 2004 ; Hasegawa *et al.*, 2009).

Hasil analisis statistik Uji-t untuk menguji hipotesa bahwa tidak ada perbedaan pengukuran SPL_{Skin} model dengan SPL_{Bulk} memperlihatkan bahwa AVHRR, MODIS maupun gabungan keduanya memiliki nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ pada selang kepercayaan 95% (*2-tailed*). Hasil Uji-t terhadap AVHRR ($n=50$) pada signifikansi 0.173 memiliki $t_{hit} = -1.383 < t_{tab} = 2.010$, MODIS ($n=50$) pada signifikansi 0.0 $t_{hit} = -4.133 < t_{tab} = 2.010$ sementara gabungan AVHRR dan MODIS ($n=100$) pada taraf signifikan 0.0 $t_{hit} = -3.858 < t_{tab} = 1.984$. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak ada perbedaan antara pengukuran SPL_{Skin} model dengan data SPL_{Bulk} *in situ*. Dengan demikian, data set citra SPL AVHRR dengan penerapan algoritma *Pathfinder day and Night* dan Aqua MODIS layak digunakan untuk tujuan penelitian oseanografi maupun oseanografi terapan lainnya di perairan Pasifik Barat *Warm Pool*.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis beberapa parameter statistik terhadap SPL_{Skin} yang dihasilkan oleh citra NOAA-17/18 AVHRR *Pathfinder day and night* dan Aqua MODIS sebagai model dengan SPL_{Bulk} perairan Pasifik Barat *Warm Pool* maka dapat disimpulkan bahwa :

1. SPL_{Skin} yang dihasilkan oleh kedua model memiliki korelasi yang kuat dengan SPL_{Bulk} *in situ* , akurasi pengukuran yang relatif sama, dan bias yang rendah tetapi disisi yang lain MODIS cenderung memiliki akurasi yang lebih rendah dari AVHRR walaupun memiliki resolusi

spasial yang tinggi. Nilai RMSE yang dihasilkan masih berada pada kisaran nilai RMSE hasil sintesa dari peneliti sebelumnya di perairan yang berbeda.

2. Akurasi pengukuran hasil validasi kedua model jika dibandingkan dengan akurasi algoritma SPL dari kedua model yang dihasilkan oleh NOAA CoastWatch ternyata AVHRR memiliki akurasi yang lebih rendah sebaliknya MODIS justru memiliki akurasi yang lebih baik.
3. Variabilitas SPL_{Skin} AVHRR dan MODIS memiliki pola yang sama dengan variabilitas SPL_{Bulk} *in situ* yang dikontrol oleh kecepatan angin (u), tetapi secara spesifik kedua model memiliki respons yang berbeda. MODIS dicirikan oleh $SPL_{Skin} >$ dari SPL_{Bulk} (bias positif) dimana SPL_{Skin} meningkat sesuai dengan peningkatan kecepatan angin (u) dan umumnya maksimum selama pengaruh *WWBs* dan *EWBs* ($u > 4$ m/s) sedangkan AVHRR memiliki $SPL_{Skin} <$ SPL_{Bulk} (bias negatif) dan $SPL_{Skin} >$ SPL_{Bulk} ketika (u) > 4 m/s dan cenderung terjadi selama *WWBs* dan *EWBs*. Perbedaan nilai bias kedua sensor ditentukan oleh pemanasan diurnal dimana waktu rekaman SPL_{Skin} AVHRR di pagi hari dengan intensitas radiasi matahari yang rendah sebaliknya Aqua MODIS merekam SPL_{Skin} dengan intensitas radiasi matahari maksimum.
4. Secara statistik tidak ada perbedaan yang signifikan antara SPL_{Skin} yang dihasilkan oleh model dengan SPL_{Bulk} *in situ* sehingga data set SPL_{Skin} kedua model layak digunakan untuk tujuan studi oseanografi dan terapan lainnya yang menggunakan SPL sebagai parameter utama di kawasan perairan Pasifik Barat *Warm Pool*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada NOAA, NESDIS, NODC dan University of Miami; NOAA CoastWatch Program dan NASA's Goddard Space Flight Center, Ocean Color Web dan Tropical Atmosphere Oceanic Project (TAO) yang telah menyediakan data set SPL AVHRR Pathfinder day and Night, SPL Aqua MODIS dan SPL *in situ*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakun B. 2006. Front and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae : opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Scientia Marina*, 70S2 : 105 – 112.
- Brown OB, Minnett PJ. MODIS. 1999. Infrared Sea Surface Temperature Algorithm, Version 2.0. Algorithm Theoretical Basis Document, ATBD25. University of Miami.
- Brown OB, Minnett PJ, Evans RH, Kearns EJ, Sikorski EJ. 2002. Manual of MODIS-SST; Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami.
- Christian JR, Murtugudde RJ, Ballabrera-Poy and McClain CR. 2004. A Ribbon of dark water : phytoplankton blooms in the meanders of the Pacific North Equatorial Counter current. *Deep-Sea Research II*, (51) : 209 - 228.

- Donlon CJ, Minnett PJ, Gentemann C, Nightingale TJ, Barton IJ, Ward B, Murray MJ. 2002. Toward Improved Validation of Satellite Sea Surface Skin Temperature Measurements for Climate Research. *Journal of Climate*, (15) : 353 – 369.
- Ganachaud AS, Gupta AS, Orr JC, Wijffels SE, Ridgway KR, Hemer MA, Maes C, Steinberg CR, Tribollet AD, Qiu B, Kruger JC. 2011. Observed and expected changes to the tropical Pacific ocean. In *Vulnerability of Tropical Pacific Fisheries and Aquaculture to Climate Change*. Edited by Bell JD, Johnson JE, Hobday AJ : Secretariat of the Pacific Community, : 101 – 189.
- Guan L, Kawamura H. 2003. SST Availabilities of Satellite Infrared and Microwave Measurements. *Journal of Oceanography*, (59) : 201 – 209.
- Hasegawa TK, Ando K, Mizuno, Lukas R. 2009. Coastal upwelling along the north coast of Papua New Guinea and SST cooling over the Pacific Warm Pool : A case study for the 2002/2003 El nino event. *Journal of oceanography*, (65): 817 – 833.
- Helber RW, Weisberg RH. 2001. Equatorial upwelling in the western Pacific warm pool. *Journal Geophys. Res.*, (106) : 8989 – 9003.
- Hosoda K, Murakami H, Sakaida F, Kawamura H. 2007. Algorithm and Validation of Sea Surface Temperature Observation Using MODIS Sensors aboard Terra and Aqua in the Western North Pacific. *Journal of Oceanography*, (63) : 267 – 280.
- ISSF Technical Report. 2012. ISSF Stock Status Ratings – 2012. Status of the World Fisheries for Tuna,
- Kilpatrick KA, Podest'a GP, Evans R. 2001. Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database. *J. Geophys. Res.*, (106) : 9179–9198.
- Kozai, K., K. Ishida ., T. Shiozaki., Y. Okada. 2004. Wind-induced upwelling in the western equatorial Pacific Ocean observed by multi-satellite sensors. *Elsevier Advance in Space Research* (a COSPAR publication), (33) : 1189 - 1194.
- Kumar A, Minnett P, Podest G , Evans A, Kilpatrick K. 2000. Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.), (4) : 395-405.
- Lehodey P, F. Chai and J. Hampton. 2003. Modelling climate-related variability of tuna populations from a coupled ocean-biogeochemical-populations dynamics model. *Fisheries Oceanography*, (4) : 483 – 494.
- Madhavan N, Vasan DT, Bharadwaj AK, Thanabalan P, Dhileeban N. 2013. Comparison and Validation of “Sea Surface Temperature (SST)” Using MODIS and AVHRR Sensor Data. *International Journal of Remote Sensing & Geoscience (IJRG)*, (2): 1 – 7.
- Lee Ming-An, Mu-Tun Tzeng, Hosoda K , Sakaida F, Kawamura H, Shieh Wei-Juan, Yih Yang Yi Chang. 2010. Validation of JAX-A/MODIS Sea Surface Temperature in Water around Taiwan Using the Terra and Aqua Satellites. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, (21) : 727 – 736.
- Qiu C, Wang D, Kawamura H, Lei Guan, Qin H. 2009. Validation of AVHRR and TMI-derived sea surface temperature in the northern South China Sea. *Continental Shelf Research* , (29) : 2358-2366.
- Sabaras PS, Menard F, Levenes JJ, Tew-Kai E, Ternon JF. 2009. Mesoscale eddies influence distribution and aggregation patterns of micronekton in the Mozambique Channel. *Marine Ecology Progress Series*, (395) : 101-107.
- Santos AM. 2000. Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods : a review. *Fisheries Research*, (49) : 1–20.

- Strong, A, McClain E.P. 1984. Improved ocean surface temperatures from space Comparisons with drifting buoys, *American Meteorological Society*, (65) : 138–142.
- Walton, CC. 1988. Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data, *Journal of Applied Meteorology*, (27) : 115–124.
- Walton C C, Pich WG, Sapper JF, May DA.1998. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with the NOAA polar-orbiting environmental satellites. *J. Geophys. Res.*, 103: 27999 - 28012.
- Walpole RE, Myers RH, Myers SL, Ye K. 2012. *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. Ninth Edition. Pearson Education Inc.