

## DETEKSI SUHU PERMUKAAN LAUT (SPL) MENGGUNAKAN SATELIT DETECTION OF SEA SURFACE TEMPERATURE (SST) USING THE SATELLITES

Try Al Tanto<sup>\*1, 2</sup>

<sup>1</sup>Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, BRSDMKP, KKP  
Jl. Raya Padang-Painan Km. 16, Bungus, Padang, Sumatera Barat – 25245

<sup>2</sup>Sekolah Pascasarjana, Program Studi Ilmu Kelautan, ITK, FPIK, Institut Pertanian Bogor

\*Corresponden author e-mail: [try\\_altanto@apps.ipb.ac.id](mailto:try_altanto@apps.ipb.ac.id)

Submitted: 15 May 2020 / Revised: 27 May 2020 / Accepted: 24 July 2020

<http://doi.org/10.21107/jk.v13i2.7257>

### ABSTRACT

Sea surface temperature (SST) can be measured by instrument on the ship or buoys on same spots, however, it can't give information on a wide area or on a global scale. Therefore, we needs remote sensing system which it can be used for SST measurement. This system be able to estimate SST on an larger region and within a short time. The aims of the study were to explain and understand the SST estimation using remote sensing system using literature studies. There are several remote sensing satellite system that can be used to estimate SST such as MODIS, NOAA AVHRR, and TRMM (Microwave). SST average in Indonesian water based on NOAA AVHRR estimation was 26-31°C (1993-2003) with >90% accuracy. Highest SST range in July 2015 was 29.1-29.8°C (MODIS estimation) with corelation coefisien values was 0.72 dan RMSE 0.74°C. On west Indonesian water (north Papua), SST estimation was in the range of 29.10-29.36°C (Aqua MODIS) and 28.88-29.19°C (Terra MODIS) with RMSE values of 0.2461°C (Aqua) and 0.4854°C (Terra). SST estimation on this water using NOAA AVHRR (2010-2012) was about 29.11-29.65°C with RMSE 0.2228°C. The accuracy of microwave sensor estimated SST was about 0.5°C within a free cloud case. SST range (TRMM/Microwave, 2008) in Indonesian water was about 21-31°C. Using NLSST formula, SST estimation produced the highest accuracy with coefficient determination of 0.95 and RMSE 0.24 K. There were different estimated values from using same remote sensing satellite that's. Generally, SST estimated highest acurracy by NOAA AVHRR that has lowest error, but can be effected by clouds. Different with Microwave sensor (TRMM) that free clouds coverage but has middle acuration for SST estimation.

**Keywords:** Sea Surface Temperature, NOAA-AVHRR, MODIS, TRMM/Microwave Sensor

### ABSTRAK

Pada mulanya, pengukuran suhu permukaan laut (SPL) dilakukan menggunakan alat langsung di kapal ataupun pelampung (buoy) pada titik tertentu, namun tidak dapat memberikan informasi luas dan skala global. Diperlukan sistem penginderaan jauh untuk pengukuran SPL secara spasial dan temporal, sistem tersebut mampu menganalisis area dalam skala luas, sulit ditempuh, dan dalam waktu singkat. Tujuan kajian adalah melakukan pendeteksian SPL dengan sistem penginderaan jauh, melalui ulasan kajian yang sudah dilakukan oleh berbagai ilmuwan. Beberapa satelit penginderaan jauh yang dapat melakukan pendeteksian SPL yaitu satelit MODIS, NOAA dan TRMM (Microwave). Rata-rata SPL di perairan Indonesia adalah 26-31°C (estimasi NOAA, 1993 – 2003), akurasi >90 % dan selisih SPL pengukuran lapang dan estimasi sebesar 0.2°C. Kondisi SPL di Indonesia cukup tinggi terjadi pada bulan Juli 2015 dengan kisaran 29.1-29.8°C (estimasi MODIS), nilai koefisien korelasi  $r=0.72$  dan RMSE 0.74°C. Pada perairan timur Indonesia (utara Papua), hasil SPL estimasi MODIS (Aqua) adalah sebesar 29.10-29.36°C, MODIS (Terra) sebesar 28.88-29.19°C. Nilai RMSE yang diperoleh dari interpretasi citra MODIS yaitu 0.2461°C (Aqua) dan 0.4854°C (Terra). Pada perairan tersebut, nilai SPL rata-rata sebesar 29.11-29.65°C (estimasi NOAA, tahun 2010-2012) dengan bias sebesar -0.43 dan rata-rata RMSE 0.2228°C. Akurasi sensor microwave dalam estimasi SPL mencapai 0.5°C, bebas dari pengaruh tutupan awan. Sebaran SPL (TRMM/Microwave tahun 2008) pada perairan Indonesia sebesar 21-31°C. Menggunakan formula/algorithm NLSST, estimasi SST menghasilkan akurasi lebih baik dengan nilai koefisien korelasi 0.95 dan RMSE 0.24 K. Terdapat perbedaan nilai estimasi dari penggunaan beberapa citra satelit yang digunakan tersebut. Secara umum, nilai SPL lebih baik

terdapat pada pengukuran satelit NOAA-AVHRR dengan bias dan RMSE yang cukup rendah, namun beresiko karena terpengaruh oleh tutupan awan. Untuk penggunaan sensor Microwave (TRMM) memiliki akurasi sedikit lebih tinggi namun tidak terpengaruh dari tutupan awan tersebut.

**Kata kunci:** Suhu Permukaan Laut, SPL, NOAA-AVHRR, MODIS, TRMM/Sensor Microwave

## PENDAHULUAN

Sebelum tahun 1980-an pengukuran suhu permukaan laut/SPL (*sea surface temperature/SST*) dapat dilakukan dengan instrumen/alat pengukur di sekitar pantai, kapal, dan melalui pelampung. Metode pengumpulan SST secara otomatis pertama adalah dengan mengukur air yang mengalir melalui *port input* kapal di laut (NASA [National Aeronautics and Space Administration]). Begitu juga dari (NOAA [National Centers for Environmental Information]) menyebutkan bahwa kapal dan pelampung telah melakukan perekaman data suhu permukaan laut diantara banyak parameter lainnya selama lebih dari seratus tahun. Sementara metode ini memperoleh sejumlah besar data SPL yang berguna, namun ada beberapa kekurangan. Kedalaman *port input* dari kapal yang berbeda dapat sangat bervariasi antara kapal yang satu dan yang lainnya. Pada suatu perairan laut yang berbeda dan perbedaan kedalaman tertentu akan memiliki suhu yang berbeda pula. Metode ini juga menghasilkan sampling yang ketat di sepanjang rute pelayaran utama tetapi kurang informasi terhadap sebagian besar lautan di dunia.

Sistem penginderaan jauh merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk pengukuran SPL, baik secara spasial dan juga temporal (Hamuna, Paulangan, & Dimara, 2015). Sistem tersebut mampu menganalisis area dalam skala luas, sulit ditempuh dan dalam waktu yang cukup singkat. Sensor satelit pada sistem penginderaan jauh bekerja dengan melakukan pendeteksian radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh permukaan air laut. Penggunaan sistem penginderaan jauh cukup banyak digunakan dalam kajian SPL, diantaranya yang biasa digunakan adalah data satelit MODIS, NOAA, dan TRMM (Microwave). Sensor satelit penginderaan jauh dapat mendeteksi radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh permukaan laut untuk melihat fenomena sebaran SPL.

Suhu merupakan suatu besaran fisika yang menyatakan banyaknya bahang (*heat*) yang terkandung dalam suatu benda. Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting bagi kehidupan organisme di lautan, karena dapat mempengaruhi aktivitas

metabolisme dan perkembangbiakan dari organisme-organisme tersebut (Hutabarat & Evans, 2014). Umumnya suhu air laut optimum untuk pertumbuhan plankton di laut tropis adalah antara 25 - 32°C. Kehidupan plankton dengan suhu air laut dalam kisaran luas disebut sebagai *eurythermal*, sementara mereka yang hidup dalam rentang sempit disebut sebagai *stenothermal* (Hartoko, 2013; Wyrki, 1961). Suhu air laut juga dapat mempengaruhi ekosistem di wilayah pesisir, baik terhadap kehidupan ekosistem terumbu karang, lamun, dan mangrove, maupun terhadap organisme yang hidup di dalam ekosistem tersebut. Secara horizontal sebaran suhu perairan sangat bergantung pada letak lintang, secara umum suhu laut pada daerah sekitar khatulistiwa lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitar lintang tinggi. Daerah-daerah yang paling banyak menerima panas dari matahari adalah daerah pada lintang 10 LU – 10 LS, sehingga suhu air laut tertinggi ditemukan di daerah khatulistiwa (Sverdrup, Johnson, & Fleming, 1942). Suhu permukaan laut di perairan Indonesia secara umum berkisar antara 28 – 31°C (Nontji, 2007). Secara vertikal, sebaran suhu di laut dapat dibedakan menjadi 3 yaitu, lapisan homogen/tercampur (*mix layer*), lapisan termoklin, dan lapisan dasar.

Peta suhu permukaan laut sangat penting dalam ilmu oseanografi, beberapa fenomena di laut dapat terlihat dengan menggunakan peta SPL secara global. Beberapa kegunaan dari sebaran SPL adalah untuk fenomena *upwelling* dan *downwelling*, pemetaan distribusi hujan salju, pemetaan banjir, analisa kelembaban tanah regional, pendeteksian kebakaran hutan, pemantauan badai, gunung api meletus, analisis fenomena El Nino, La Nina, IODM, *sea level heigh*, *sea level rises*, perubahan iklim global, pergerakan arus laut (*Gulf Stream*), dan lain-lainnya. Suhu permukaan laut di Indonesia umumnya sekitar 28 – 31°C (Nontji, 2007), dimana ditemukannya fenomena *upwelling* terjadi, seperti Laut Banda. Kejadian *upwelling* di lihat dari tingkat penurunan SPL, yaitu *upwelling* dikatakan terjadi jika anomali sekitar 0.5°C dibawah suhu rata-rata dan terjadi peningkatan *net primary productivity* (NPP) rata-rata (Kemili & Putri, 2012). SPL juga dapat melihat variasi arus laut secara spasial dan temporal. Salah satunya adalah fenomena *Gulf-Stream* adalah arus laut kuat yang merupakan arus panas yang bergerak dari

daerah tropis menuju lintang tinggi. Selain itu SPL juga dapat melihat arus berputar yang membentuk *gyres* berupa *eddy current*. SPL mempengaruhi kecepatan pertukaran panas (*heat*), uap air (*moisture*), dan gas antara laut dan udara. Menurut (Syaifullah, 2015) bahwa selama kurun waktu 32 tahun terjadi peningkatan suhu permukaan laut di wilayah Indonesia. Kenaikan SPL paling besar terjadi di Lautan Pasifik Barat (bagian utara Papua).

Kajian ini bertujuan untuk melakukan ulasan pendeteksian sebaran suhu permukaan laut melalui sistem penginderaan jauh yang sudah dikaji oleh berbagai ilmuwan kelautan, baik yang berlokasi di perairan Indonesia maupun perairan lainnya secara umum.

## MATERI DAN METODE

Pendeteksian SPL dengan sistem penginderaan jauh dilakukan dengan pendekatan studi literatur. Berbagai hasil kajian yang disebarakan melalui jurnal dan prosiding ilmiah, tentunya yang berkaitan dengan penginderaan jauh untuk kajian ini sangat diperlukan sebanyak-banyaknya, untuk memperoleh hasil interpretasi yang lebih baik.

### Estimasi SST Dari Satelit NOAA-AVHRR

Konfigurasi satelit NOAA adalah pada ketinggian orbit 833-870 km, inklinasi sekitar 98.7-98.9°, mempunyai kemampuan mengindra suatu daerah dua kali dalam sehari (Sunaremanda *et al.*, 2017). NOAA memiliki 6 sensor utama, sensor yang relevan untuk pemantauan bumi adalah sensor AVHRR dengan kemampuan memantau 5 saluran yang dimulai dari saluran tampak (*visible band*) sampai dengan saluran inframerah jauh. Satelit ini menggunakan sensor *Advanced Very High Resolution Radiometric* (AVHRR), sehingga mampu mengukur suhu permukaan laut (SPL) (Yusniati, 2006).

#### 1. Import Data

Data satelit yang masih berupa data mentah (*raw data*) diolah menjadi bentuk data yang informatif dan dapat diinterpretasikan dengan mudah. Pengolahan data satelit dari awal hingga akhir terdiri dari pemasukan data (*import data*) dalam bentuk *ASCII Simple Binary 8-bit BIP grid*, yang kemudian dapat menghasilkan keluaran berupa data (Yusniati, 2006).

#### 2. Koreksi Geometrik

Data yang ditransmisikan dari satelit ke bumi dapat mengalami distorsi geometrik dan

radiometrik. Agar citra dapat digunakan lebih baik, sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap distorsi tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat energi objek, letak objek pada peta, dan geometrik kenampakan objek citra tersebut, nilai digitalnya dipengaruhi oleh atmosfer. Koreksi data berfungsi untuk menanggulangi dan mengurangi distorsi yang ada sehingga diperoleh data citra yang lebih teliti. Distorsi geometrik terjadi karena adanya pergeseran piksel dari letak yang sebenarnya. Distorsi ini dapat dikurangi dengan koreksi geometrik melalui dua tahap, yaitu *coordinate transformation* (transformasi geometrik) dan *resampling*. Transformasi geometrik dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan titik kontrol ikat (*ground control point/GCP*) pada hasil output citra yang baru. GCP adalah suatu kenampakan geografis yang spesifik dan stabil sifat geometrik dan radiometriknya serta lokasinya dapat diketahui dengan tepat. Syarat GCP yaitunya harus tersebar merata di seluruh citra dan permanen dalam kurun waktu yang lama. Proses penerapan alih ragam geometrik terhadap data asli disebut *resampling*. *Resampling* adalah penentuan titik keabuan piksel yang telah dikoreksi dengan harga keabuan piksel tetangganya pada citra semua. Proses tersebut untuk melakukan eliminasi koordinat GCP sampai menghasilkan nilai RMS (*Root Meansquare Error*) lebih kecil dari 0.5 sehingga data yang dihasilkan berada pada posisi yang lebih sesuai dengan keadaan pada peta acuan.

#### 3. Koreksi Radiometrik

Pengaruh atmosfer (*scattering* dan *absorpsi*), *noise* pada waktu transmisi data, radiasi, dan perubahan cahaya dapat menyebabkan distorsi radiometrik. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan koreksi radiometrik, biasanya koreksi ini sudah dilakukan oleh stasiun penerima.

#### 4. Koreksi nilai radian

##### a) Kalibrasi radian

Sebelum menghitung nilai SPL maka dilakukan pengolahan untuk mengkonversi nilai radian masing-masing piksel menjadi nilai suhu perairan. Untuk mendapatkan nilai radian (*Li*), harus diketahui nilai *G* (*slope*) dan *I* (*intercept*). Parameter input yang digunakan untuk perhitungan koefisien *slope* dan *intercept* adalah data telemetri, data *count* internal target dan data *count* angkasa yang terdapat dalam *header* citra. Sebagai acuan radian, dan PRT (*Platinum Resistance Target*) pada satelit yang berperan sebagai internal target adalah radian dari objek di bumi yang terukur oleh

sensor. Koreksi radiansi terdiri dari koreksi radiansi linier dan non-linier. Untuk mendapatkan nilai radiansi linier ( $L_i$ ), harus diketahui nilai  $G$  (*slope*) dan  $I$  (*intercept*). Rumus perhitungan  $G$  (*slope*) dan  $I$  (*intercept*) dalam proses koreksi nilai radiansi adalah sebagai berikut:

$$G = \frac{L_{i,s} - L_{i,t}}{N_{i,s} - N_{i,t}} \quad I_i = L_{i,s} - G \cdot N_{i,t}$$

$L_{i,s}$  = Radiansi untuk kanal ke- $i$ ,  $L_{i,t}$  = Radiansi internal target untuk kanal ke- $i$ ,  $N_{i,s}$  = Radiansi digital kanal ke- $i$ ,  $N_{i,t}$  = Bilangan digital internal target kanal ke- $i$ ,  $G_i$  = Nilai slope untuk kanal ke- $i$ ,  $I_i$  = Nilai intercept untuk kanal ke- $i$ .

Proses kalibrasi nilai digital (*radiometer count*) menjadi nilai radiansi dirumuskan sebagai berikut:

$$L_i = G_i \cdot N_i F + I_i$$

$L_i$  = Radiansi linier kanal ke- $i$ ,  $G_i$  = Slope kanal ke- $i$ ,  $N_i$  = Nilai digital (*digital number*),  $F$  = Konstanta kesetaraan data AVHRR,  $F = 1$  untuk data 10 bit;  $F = 4$  untuk data 8 bit,  $I_i$  = Intercept kanal ke- $i$ .

Data masukan yang digunakan adalah data AVHRR 8 bit sehingga digunakan konstanta  $F (= 4)$  sebagai koreksi dalam persamaan tersebut. Pada kanal 4 dan 5, dilakukan koreksi radiansi non-linier terhadap nilai radiansi yang diperoleh berdasarkan nilai *slope* dan *intercept*, data *slope* dan *intercept*.

\* Koreksi radiansi non-linier terhadap kanal 4 ( $i=4$ )

$$\begin{aligned} L4 \text{ lin} &= G4 \cdot N4.F + I4 \\ L4 \text{ non-lin} &= 3.72 - 0.0763 \cdot L4 \text{ lin} + 0.0003833 \cdot L4 \text{ lin}^2 \\ L4 \text{ total} &= L4 \text{ lin} + L4 \text{ non-lin} \end{aligned}$$

\* Koreksi radiansi non-linier terhadap kanal 5 ( $i=5$ )

$$\begin{aligned} L5 \text{ lin} &= G5 \cdot N5.F + I5 \\ L5 \text{ non-lin} &= 2.00 - 0.381 \cdot L5 \text{ lin} + 0.0001742 \cdot L5 \text{ lin}^2 \\ L5 \text{ total} &= L5 \text{ lin} + L5 \text{ non-lin} \end{aligned}$$

b) Komputasi suhu kecerahan (*brightness temperature*)

Suhu kecerahan ( $T_b$ ) diperoleh dari proses konversi nilai radiansi ( $L_i$ ), menggunakan algoritma multikanal yaitu kanal 4 dan kanal 5. Suhu kecerahan

(*brightness temperature*) diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$T_b(\lambda) = \frac{\beta}{\{Ln(L_i) - \alpha\}}$$

$T_b$  = Suhu kecerahan,  $L_i$  = Radiansi kanal ke- $i$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  = Konstanta

Lalu hasil dari perhitungan suhu kecerahan ini dikoreksi terhadap ketidak linieran sensor, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$T_{tb} = a2 + b2 T_b \ddot{e}$$

$T_{tb}$  = Suhu kecerahan yang sudah dikoreksi

$T_b$  = Suhu kecerahan

$a$ ,  $b$ ,  $\ddot{e}$  = Parameter koreksi

c) Komputasi suhu air

Suhu air untuk masing-masing kanal diperoleh dengan memasukan nilai koreksi emisivitas air ( $\hat{a}$ ) yang nilainya 0.98. Persamaan yang digunakan untuk menghitung suhu air ( $T_{w_n}$ ) adalah (Harsanugraha & Parwati, 1992; Yusniati, 2006):

$$T_w = \frac{C_2 \cdot \lambda_n}{\ln(1 - \epsilon + \epsilon \cdot \exp\{\frac{C_2 \gamma_n}{T_b}\})}$$

$T_w$  = Suhu air,  $C_2$  = Konstanta radiasi surya (1.438833  $\text{cm}^0\text{K}$ ),  $\lambda_n$  = Bilangan gelombang radiansi efektif untuk kanal tertentu,  $T_b$  = Suhu kecerahan,  $\gamma_n$  = emisivitas air (0.98 yang digunakan oleh LAPAN)

d) Analisis hasil liputan awan

Proses selanjutnya, memisahkan antara daratan, laut, dan awan, sehingga awan dan darat mempunyai nilai yang sama, tetapi berbeda dengan nilai laut. Nilai suhu awan yang berasal dari tiga kelas kisaran suhu, yaitu  $<0^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}-22^\circ\text{C}$ , dan  $>31^\circ\text{C}$ . Kedua kelas pertama diberi nilai  $0^\circ\text{C}$  pada tampilan citra dan kelas ketiga diberi nilai  $32^\circ\text{C}$ . Sedangkan yang termasuk dalam kelas suhu laut adalah  $22^\circ\text{C}-31^\circ\text{C}$ . Untuk menentukan SPL dengan data satelit cuaca NOAA-AVHRR diasumsikan bahwa atmosfer dalam keadaan cerah. Analisa liputan awan dilakukan dengan menggunakan kanal 2. Penggunaan kanal 2 bertujuan untuk memeriksa wilayah yang diamati bebas dari awan sehingga nilai suhu yang diperoleh dari estimasi data digital mempunyai nilai bias yang kecil dari SPL yang sebenarnya.

5. Perhitungan SPL

Terdapat beberapa algoritma yang digunakan untuk perhitungan SPL, yang nantinya berbeda

pada konstanta dan koefisien yang digunakan pada lokasi tertentu. (Yusniati, 2006) menggunakan metode dari hasil pengembangan McMillin dan Crosby, untuk wilayah kajian perairan Laut Jawa. Pemilihan metode ini adalah dianggap paling sesuai untuk perairan Indonesia dengan tingkat deviasi  $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$  untuk estimasi malam hari dan  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  untuk estimasi siang hari dari perairan sebenarnya.

Rumus perhitungan SPL berdasarkan McMillin & Crosby (1984) tersebut yaitu:

$$\text{SPL} = \{T_{w4} + 2.702 (T_{w4} - T_{w5}) - 0.582\} - 273^{\circ}\text{C}$$

$$T_{w4} = \text{Suhu emisivitas kanal 4, } T_{w5} = \text{Suhu emisivitas kanal 5.}$$

Penentuan SPL dengan metode McMillin & Crosby (1984) menggunakan citra dari kanal 4 dan 5 yang digabung. Keluaran dari proses ini sudah merupakan nilai dari SPL. (Nababan & Simamora, 2012) melakukan kajian SPL di Perairan Natuna menggunakan algoritma MCSST (*Multi-Channel Sea Surface Temperature*). Secara umum dari algoritma ini adalah:

$$\text{SPL} = A + B * (T_1 - T_2) + T_1.$$

Untuk pengamatan citra saat siang hari, menggunakan channel 11 dan 12  $\mu\text{m}$ , dengan algoritma berikut:

$$\text{SPL} = 1.0346 * T_{11} + 2.5779 * (T_{11} - T_{12}) - 283.21.$$

Pengamatan citra malam hari, menggunakan channel 3.7  $\mu\text{m}$ , dengan algoritma berikut:

$$\text{SPL}_1 = 1.5018 * T_{3.7} - 0.4930 * T_{11} - 273.34;$$

$$\text{SPL}_2 = 3.6139 * T_{11} - 2.5789 * T_{12} - 283.18;$$

$$\text{SPL}_3 = 1.0170 * T_{11} + 0.9694 * (T_{3.7} - T_{12}) - 276.58;$$

Selain itu, (Gaol, Arhatin, & Ling, 2014) menggunakan formula yang dikembangkan oleh Walton (1988), sebagai berikut:

$$\text{SPL} = a + bT_4 + c (T_4 - T_5) \text{ SPL guess} + d (T_4 - T_5) (\sec \rho - 1)$$

$T_4 - T_5$  adalah temperatur kecerahan kanal 4 dan kanal 5,  $\text{SPL}_{\text{guess}}$  adalah nilai SPL pertama, a, b, c dan d adalah koefisien yang diperoleh dari analisis regresi SPL *in situ* dan estimasi dari satelit,  $\rho$  adalah sudut *zenit sensor*.

### MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*)

MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) merupakan sebuah instrumen penting yang berada dalam satelit Terra (EOS AM) dan Aqua (EOS PM). Satelit ini di luncurkan pada tanggal 18 Desember 1999 (Terra) dan 4 Mei 2002 (Aqua) merupakan misi NASA yang dapat mengobservasi fenomena-fenomena di darat, laut, dan atmosfer (Sipayung, Krismianto, & Risyanto, 2016). Satelit Aqua/Terra MODIS mengamati seluruh permukaan bumi setiap 1 hingga 2 hari, memperoleh data dalam 36 kanal pita spektrum (spectral band) atau grup dari panjang gelombang (Annas, 2009). Citra satelit Aqua/Terra MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) untuk pemantauan dan kajian SPL karena mempunyai band *thermal* dan resolusi temporal yang tinggi, sehingga dinamika perubahan SPL dapat diamati secara kontinu (Hamuna *et al.*, 2015). Sensor MODIS yang terdapat pada satelit Aqua/Terra mempunyai 36 band spectral yang terdiri dari (1-19) band tampak, inframerah pada band 26 dan sisanya adalah band thermal (Ayu, Bangun, & Lalu, 2012; Yati, Setiawan, Manopo, Budhiman, & Hasyim, 2014). Untuk satelit Aqua MODIS mengelilingi bumi setiap 1 – 2 hari dengan arah lintasan orbit dari kutub selatan menuju kutub utara (*ascending node*) pada ketinggian 705 km dan lebar sapuan 2330 km (NASA [National Aeronautics and Space Administration], n.d.; Sipayung *et al.*, 2016; Tampubolon, Gustin, & Chayati, 2016). Satelit ini memiliki orbit polar *sun-synchronous*, melintasi *equator* pada siang hari mendekati pukul 13.30 waktu lokal. *Image* satelit ini memiliki tiga resolusi spasial yaitunya 250 m (Band 1 - Band 2), 500 m (band 3 - band 7), dan 1000m (Band 8 - Band 36). SPL yang diperoleh dapat berupa level 1B dan level 2, perlu dilakukan koreksi terlebih dahulu. Selain itu, SPL dari satelit Aqua-MODIS juga berupa level 3 komposit dengan resolusi spasial 4 km x 4 km. Citra satelit Aqua-MODIS level 3 ini sudah terkoreksi radiometrik dan geometrik (Nurheryanto, 2009).

Beberapa level dari data satelit MODIS:

- 1) Data level 0; data mentah yang diperoleh langsung dari satelit, masih dalam format data transmisi
- 2) Data level 1a; data ini telah diperiksa dan direkonstruksi, sudah mempunyai informasi waktu dan keterangan koefisien kalibrasi serta parameter *georeference*.
- 3) Data level 1b; data ini sudah disipkan beberapa sub-file berupa data lokasi

geografis, data kalibrasi sensor untuk konversi perhitungan digital.

- 4) Data level 2; data yang dari level 1 sudah dilakukan pemrosesan, menghasilkan produk data geofisik (suhu *brightness*, *radiance*, *cloud mask*, *NDVI*, *SST*, *LST*, dan *fire*).
- 5) Data level 2G; mirip dengan level-2, tetapi memuat *pixel* ke *grid mappings* hingga file produk.
- 6) Data level 3; data parameter geofisik grid bumi, yang sudah dirata-ratakan, sudah ada grid atau *rectified* dan penggabungan berdasarkan waktu dan wilayah.
- 7) Data level 4; *model output* atau hasil dari analisis dari data level-0.

Tahapan pemrosesan data satelit modis:

- 1) Memasukan data modis  
Data modis dalam proses ini adalah level 1b, kanal 20, 31, 32, dan layer sensor zenith (Isz). Data kanal 20, 31, 32 diambil dari data modis 1000m, dan data Isz dari file *\*geo.hdf*.
- 2) Koreksi *bow-tie*  
Hal ini termasuk *pre-processing* data MODIS, untuk memperbaiki data yang *overlap*, yang dapat terjadi karena peningkatan *field of view* (IFOV) dari 1 x 1 km pada titik terendah (nadir) menjadi sekitar 2 x 5 km pada sudut scan maksimum (55°) (Aini, 2007; Annas, 2009).
- 3) Koreksi geometrik  
Untuk mereduksi distorsi geometrik dari objek permukaan bumi yang ada pada citra, karena kelengkungan permukaan bumi, dan hal lain seperti variasi tinggi satelit, ketegakan satelit dan kecepatannya. Akibatnya posisi spasial dari suatu area pada citra sesuai dengan posisi lapang.
- 4) Menghitung Nilai Radiansi  
Untuk menghitung SPL, data MODIS yang digunakan adalah kanal 20, 31 dan 32. Kanal 20, 31, 32, masih dalam bentuk digital number (unit 16) dikalibrasi menjadi nilai radiansi dengan rumus:  
$$L_i = radiance\_scales(SI_i - radiance\_offsets)$$
  
 $L_i$  = radiansi kanal I,  $SI_i$  = skala integer kanal I (digital number)  
*Radiance\_scales* dan *radiance\_offsets* diperoleh dari atribut yang terdapat pada file *hdf*, disesuaikan dengan kanal yang akan dikalibrasi.
- 5) Menghitung nilai suhu *brightness*  
Selanjutnya dihitung suhu kecerahan menggunakan persamaan invers fungsi **Planck** (*black body radiation*), dengan

anggapan bumi mempunyai suhu kamar berkisar 300 K:

$$T_b(\lambda) = \frac{C_2}{\lambda \ln \left( \frac{C_1}{\lambda^5 \pi L_\lambda} + 1 \right)}$$

$T_b$  = suhu kecerahan kanal b (K),  $L$  = radiansi spektral ( $Wm^{-2} nm^{-1} sr^{-1}$ ),  $\lambda$  = panjang gelombang (m),  $C_1 = 1.1910659 \times 10^{-5} m^{-1} Wsr^{-1} cm^4$ ,  $C_2 = 1.438833 cm K$ .

- 6) Menghitung Suhu Permukaan Laut  
Perhitungan suhu permukaan laut dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang terdapat pada ATBD-MOD-25, *Infrared Sea Surface Temperature*, yaitu Algoritma Infra Merah Thermal:

$$modis\_sst = c1 + c2 * T_{31} + c3 * T_{31\ 32} + c4 * (\sec(\theta) - 1) * T_{31\ 32}$$

$T_{31}$  = suhu kecerahan kanal 31,  $T_{31\ 32}$  = perbedaan suhu kecerahan (kanal 32 - kanal 31),  $\theta$  = sudut zenith satelit.

Selain itu, juga digunakan formula *Minnet* (Suwargana & Arief, 2004; Zahroh & Sukojo, 2016), seperti berikut:

$$SPL = -0.0024 + 3.53TB_{31} - 2.52TB_{32} - 0.582 - 273$$

SPL: suhu permukaan laut (°C),  $TB_{31}$  dan  $TB_{32}$  menyatakan nilai *brightness temperature* dari band 31 dan band 32.

## LANDSAT

Landsat diluncurkan pertama kali pada tahun 1972 dengan nama ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite-1*). Satelit Landsat berada pada orbit ketinggian 705 Km. Awal peluncuran, orbit Landsat berada pada ketinggian 920 Km. Dengan mengurangi ketinggian orbit dari 920 Km menjadi 705 Km, resolusi spasial meningkat dari 80 m menjadi 30 m. Setelah lebih dari 40 tahun, seri dari satelit Landsat menyediakan perekaman data temporal terpanjang pada data multispektral resolusi sedang untuk permukaan bumi secara global. Landsat telah merekam dengan baik sekali tanpa rusak, membuktikan sumber yang unik untuk membantu ilmuwan pada jarak yang luas/lebar dalam mengatur/mengelola bumi berupa perairan, hutan, dan lain-lainnya (USGS [U.S. Geological Survey], n.d.). Satelit Landsat yang digunakan untuk pendeteksian SPL adalah Landsat-8. Satelit ini memiliki sensor *operational land imager* (OLI) yang serupa dengan sensor ETM+ dari Landsat-7, mempunyai band 10 (*thermal infrared-1* dengan  $\lambda$ : 10.20 – 11.19  $\mu m$ ) dan band 11 (*thermal Infrared-2* dengan  $\lambda$ : 11.50 – 12.51  $\mu m$ ), dengan resolusi 100 m yang *resampling*

menjadi 30 m (Arief *et al.*, 2015). Kedua band tersebut, secara spasial memberikan informasi suhu permukaan laut atau suhu permukaan tanah yang lebih detail. Secara keseluruhan, satelit landsat-8 terdiri dari (Irons, Dwyer, & Barsi, 2012; Knight & Kvaran, 2014): band 1 - coastal/aerosol ( $\lambda$ : 0.433 – 0.453  $\mu\text{m}$ ), band 2 - blue ( $\lambda$ : 0.450 – 0.515  $\mu\text{m}$ ), band 3 - green ( $\lambda$ : 0.525 – 0.600  $\mu\text{m}$ ), band 4 - red ( $\lambda$ : 0.630 – 0.680  $\mu\text{m}$ ), band 5 - near infrared/NIR ( $\lambda$ : 0.845 – 0.885  $\mu\text{m}$ ), band 6 - short wavelength infrared/SWIR1 ( $\lambda$ : 1.560 – 1.660  $\mu\text{m}$ ), band 7 - short wavelength infrared/SWIR2 ( $\lambda$ : 2.10 – 2.30  $\mu\text{m}$ ), band 8 - pancromatic ( $\lambda$ : 0.500 – 0.680  $\mu\text{m}$ ), band 9 - cirrus ( $\lambda$ : 1.360 – 1.390  $\mu\text{m}$ ), band 10 - long wavelength infrared/thermal infrared-1 ( $\lambda$ : 10.20 – 11.19  $\mu\text{m}$ ), dan band 11 - long wavelength infrared/thermal infrared-2 ( $\lambda$ : 11.50 – 12.51  $\mu\text{m}$ ). Untuk band 1 hingga band 7 dan band 9 memiliki resolusi 30 m, sedangkan untuk band 10 dan 11 hanya memiliki resolusi spasial 100 m namun diresampling menjadi 30 m (USGS [U.S. Geological Survey], n.d.). Berikut proses dalam analisis citra Landsat 8 untuk SPL:

- 1) Pengumpulan data, koreksi radiometrik, dan resampling (band 10 dan band 11, dari resolusi 100 m menjadi 30 m). Untuk resampling, diperlukan data lapang dan pengkoreksian geometik untuk penyamaan koordinat citra dan pengukuran lapang.
- 2) Perhitungan radiansi citra, dengan formula  $L_\lambda = M_L \cdot \text{digital number} + A_L \rightarrow M_L$ : radiance multiplier/band specific multiplicative rescaling factor =  $3.3420 \cdot 10^{-4}$ ;  $A_L$ : band specific radiance additive rescaling factor band = 0.1.
- 3) Menghitung temperatur kecerahan (brightness temperature) ( $T_b = \frac{K^2}{\ln(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1)}$ ) (Arief *et al.*, 2015; Jaelani & Alfatinah, 2017; Syariz *et al.*, 2015; USGS [U.S. Geological Survey], 2013).
- 4) Mengkorelasikan suhu pengamatan ( $T_p$ ) dengan suhu kecerahan ( $T_b$ ) dari band 10 dan band 11, diperoleh fungsi korelasi polinomial dalam 2 dimensi.
- 5) Membangun model estimasi SPL berdasarkan korelasi  $T_p$  dengan  $T_b$  dan  $T_b$ .
- 6) Diperoleh model estimasi SPL, yaitu model polinomial orde 3 dalam 3 dimensi:  
 $T_{(X_{10}, X_{11})} = \sum_{n=0}^3 a_n X_{10}^n + b_n X_{11}^n$ ;  $a_n$  dan  $b_n$  adalah konstanta yang ditentukan secara empiris.

Formula lainnya yang digunakan dalam perhitungan SPL pada satelit Landsat adalah:

**Algoritma Plank:**

$$T_s = \frac{BT}{[1 + (\frac{\lambda BT}{\rho}) \ln \epsilon]} \quad T_s: \text{SPL (K)}; BT: \text{suhu}$$

kecerahan (brightness temperature, K);  $\lambda$ : panjang gelombang,  $\rho$ : ( $h^*c/\sigma$ ) =  $1.438 \cdot 10^{-2}$  mK;  $\epsilon$ : spektral emisivitas (Jaelani & Alfatinah, 2017; Ndossi, Avdan, Ndossi, & Avdan, 2016).

**Algoritma MWA (Mono-Window Algorithm):**

$$T_s = \frac{a_i(1 - C_i - D_i) + [b_i(1 - C_i - D_i) + C_i + D_i]T_i - D_i T_a}{C_i}$$

$T_s$ : SPL (K);  $T_i$ : suhu kecerahan (brightness temperature, K);  $T_a$ : rata-rata suhu atmosfer;  $a_i = -67.355351$ ;  $b_i = 0.458606$ .  $C_i = \epsilon_i \cdot \tau_i$ ;  $D_i = (1 - \tau_i) [1 + (1 + \epsilon_i) \tau_i]$ ;  $\epsilon_i$ : emisivitas permukaan;  $\tau_i$ : transmitansi atmosfer (atmospheric transmittance) (Jaelani & Alfatinah, 2017; Ndossi *et al.*, 2016).

**Algoritma Split Window Algorithm (SWA):**

$$T_s = BT_{10} + (2.946 * (BT_{10} - BT_{11})) - 0.038$$

$T_s$ : SPL ( $^{\circ}\text{C}$ );  $BT_{10}$  dan  $BT_{11}$ : suhu kecerahan (brightness temperature, K) (Cahyono, Armono, & Saptarini, 2017; Jaelani & Alfatinah, 2017; Ritchie & Charles, 2001).

Pada algoritma SWA ini, oleh (Bayat & Hasanlou, 2016) juga dilakukan pengkajian SPL dengan beberapa formula, seperti berikut:

$$MCSST = a_0 + a_1 T_i + a_2 (T_i - T_j)$$

$$NLSST = a_0 + a_1 T_i + a_2 (T_i - T_j)$$

$$T_s = a_0 + a_1 T_i + a_2 (T_i - T_j) + a_3 (T_i - T_j)^2$$

Formula yang dikembangkan oleh (Syariz *et al.*, 2015), dimana band 10 menggunakan persamaan:

$$y = -0.0835 x + 31.192$$

$$y = -0.0273 x^2 + 0.7474 x + 43.461$$

$$y = -0.0054 x^3 + 0.2166 x^2 - 2.9425 x + 43.461$$

Untuk band 11 menggunakan persamaan:  $y = -0.0996 x + 30.899$

$$y = -0.0273 x^2 + 0.7474 x + 43.461$$

$$y = -0.0054 x^3 + 0.2166 x^2 - 2.9425 x + 43.461$$

Nilai x adalah suhu kecerahan (brightness temperature,  $^{\circ}\text{C}$ ), y adalah estimasi nilai SPL ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Jaelani & Alfatinah, 2017; Syariz *et al.*, 2015).

**TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) / AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) / Sensor Microwave**

Satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission's*) dengan sensor *microwave (advanced microwave scanning radiometer/AMRS)*, dirancang untuk pengukuran radiasi bumi pada daerah spektral 7 - 90 GHz. Polarisasi, frekuensi, dan pemilihan sudut miring sensor AMRS berbeda dengan sensor radiometer satelit sebelumnya seperti SeaSat, Nimbus-7, SSM, dan TRMM. Hal ini memungkinkan sensor AMRS untuk mendapatkan 4 parameter penting seperti suhu permukaan laut dengan ketelitian (rms) 0.5 K, kecepatan angin permukaan ketelitian 1.0 m/s, kandungan uap air vertikal ketelitian 1,0 mm, dan kandungan uap air dalam awan secara vertikal ketelitian 0.02 mm (Hasyim, Sulma, & Hartuti, 2010; Wentz & Meissner, 2007). Pengujian yang dilakukan terhadap pengukuran *buoy*, menunjukkan ketelitian rms sebesar 0.5 – 0.7 C (Hasyim *et al.*, 2010).

1. Dasar Algoritma SPLWentz dan Meissner (2007) mengatakan bahwa diantara frekuensi 4 dan 11 GHz, suhu brightness ( $T_B$ ) pada permukaan laut sangat besar pengaruhnya terhadap SPL. Selain terhadap SPL,  $T_B$  juga bergantung pada kekasaran (*roughness*) permukaan laut dan suhu udara, serta profil uap air. Kekasaran permukaan laut sangat berkaitan dengan angin lokal, biasa diukur pada lokasi dekat permukaan berupa kecepatan dan arah angin. Tanda spektral dan polarimetrik pada kekasaran permukaan dan udara sangat nyata sebagai penentu SPL, dan pengaruh dari kondisi tersebut dapat ditentukan dengan memberikan pengamatan bersamaan pada frekuensi bertingkat dan membuat pola tertentu. AMRS-E memiliki 10 channel terhubung pada 5 frekuensi (7, 11, 19, 24 and 37 GHz) dan 2 polarisasi (v-pol and h-pol). Channel tersebut dilakukan pengaturan untuk memisahkan antara data SPL, angin, dan sinyal udara (kelembaban/uap air, awan, dan hujan).
2. Formula dasar dari algoritma SPL

$$P_{1j} = a_{0j} + \sum_{i=1}^{10} a_{ij}t_i + b_{ij}t_i^2$$

$t_i = T_{Bi} - 150$  semua channel kecuali channel 24 GHz  
 $t_i = -\ln(290 - T_{Bi})$  untuk kedua channel 24 GHz

J = 1 menunjukkan SPL ( $P_{11}$ ),  $T_{Bi}$  menunjukkan suhu brightness untuk channel  $i$ ,  $a_{ij}$  dan  $b_{ij}$  koefisien regresi.

Bagaimanapun, hubungan antara  $T_B$  dengan SPL dan angin tidak linear. Oleh karena itu, kita menambahkan tingkatan ke dua pada keterangan algoritma, suatu pengaturan lebih luas dibatasi pada keterangan algoritma yang digunakan tersebut. Algoritma SPL ini diusahakan memperoleh ketelitian hingga  $\pm 1.5^\circ\text{C}$ .

3. Algoritma SPL dan Pengolahan (Hasyim *et al.*, 2010) menjelaskan bahwa tahap awal dengan melakukan perhitungan SPL ( $T_s$ ), secara khusus diperoleh dengan rumus regresi non-linier dan algoritma iterasi seperti berikut:

$$T_s = \check{T}_s + \varepsilon_{Ts}$$

$T_s$  = suhu permukaan laut pada resolusi yang lebih tinggi,  $\check{T}_s$  = dihitung untuk resolusi  $T_s$  yang lebih rendah, dan  $\varepsilon_{Ts}$  = rms error berdasarkan dugaan.

Tahapan yang dilakukan diantara perolehan data SPL dari sensor *Microwave/AMSR-E*, dalam kondisi tertutup awan sekalipun, dilakukan *cropping area* (sesuai wilayah kajian).

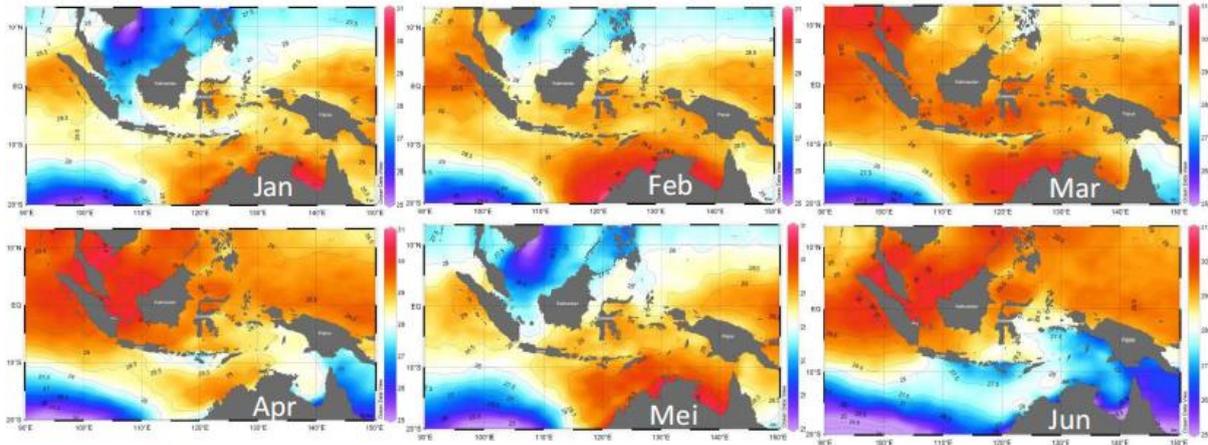
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menurut (Gaol *et al.*, 2014) SPL rata-rata di perairan Indonesia, secara umum pada musim barat lebih tinggi dari pada musim timur, kecuali pada perairan timur Sumatera yang pada bulan Januari dan Februari SPL lebih rendah sebesar  $26.5-27.5^\circ\text{C}$ . Secara rata-rata SPL di perairan Indonesia adalah  $26-31^\circ\text{C}$ . Hasil ini diperoleh dari perhitungan pada citra satelit NOA-AVHRR, data rata-rata bulanan tahun 1993 – 2003. Sekitar pada bulan Maret, SPL seluruh perairan Indonesia berkisar antara  $28.5-29.5^\circ\text{C}$  relatif lebih tinggi dibandingkan pada bulan-bulan lainnya (Gambar 1 dan 2). Pola distribusi SPL di Indonesia dapat dipengaruhi oleh kondisi perairan di Pasifik dan Samudera Hindia. Arus Katulistiwa Selatan (AKS) di Samudra Hindia umumnya mengalir ke arah barat. Pada musim timur angin Muson tenggara membuat AKS semakin melebar ke utara bergerak sepanjang pantai selatan Jawa-Bali-Sumbawa kemudian memaksanya berbelok ke arah Barat Daya. Saat itu arus permukaan menunjukkan pola anti-siklonik membawa massa air permukaan keluar menjauhi pantai selatan Jawa-Bali-Sumbawa akibatnya terjadi kekosongan di sepanjang pantai selatan Jawa sehingga terjadi *upwelling* mulai bulan Mei dan berakhir bulan Oktober. Selain pengaruh angin Muson, SPL di perairan Indonesia dipengaruhi fenomena iklim global seperti El Nino dan IOD. SPL di perairan yang berhubungan dengan Samudra Hindia secara signifikan dipengaruhi oleh fenomena IOD (Gaol *et al.*, 2014). Pada

*Tanto, Deteksi Suhu Permukaan Permukaan laut (SPL)*

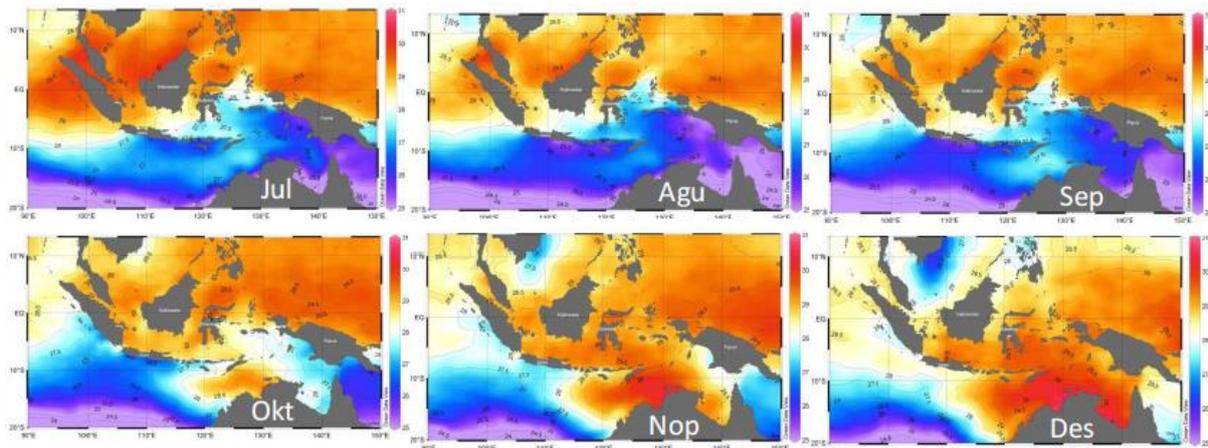
saat fase IOD positif terjadi anomali negatif SPL di pantai barat Sumatra, Jawa-Bali-Sumbawa hingga perairan Arafura, SPL menurun secara tajam mencapai 3°C. Pada saat El Nino SPL di perairan yang berhubungan dengan Samudra

Pasifik cenderung meningkat. Hasil analisis menunjukkan bahwa SPL estimasi dari satelit NOAA-AVHRR mempunyai akurasi > 90 % dengan rata-rata selisih nilai SPL in situ dan citra satelit sebesar 0.2°C (Gambar 3.a).



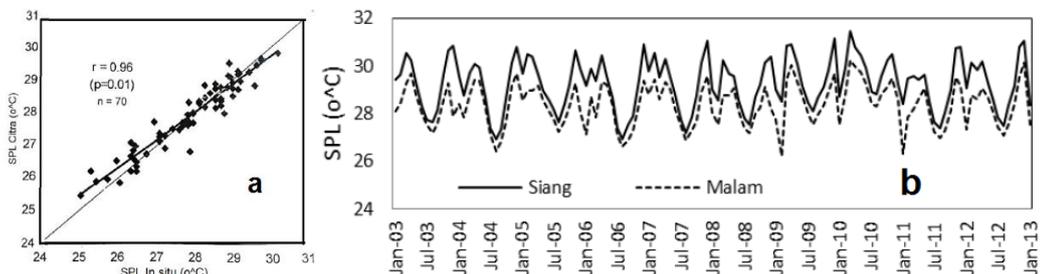
Sumber: Gaol et al. (2014)

**Gambar 1.** Peta distribusi suhu permukaan laut bulanan (Jan-Jun) di Perairan Indonesia



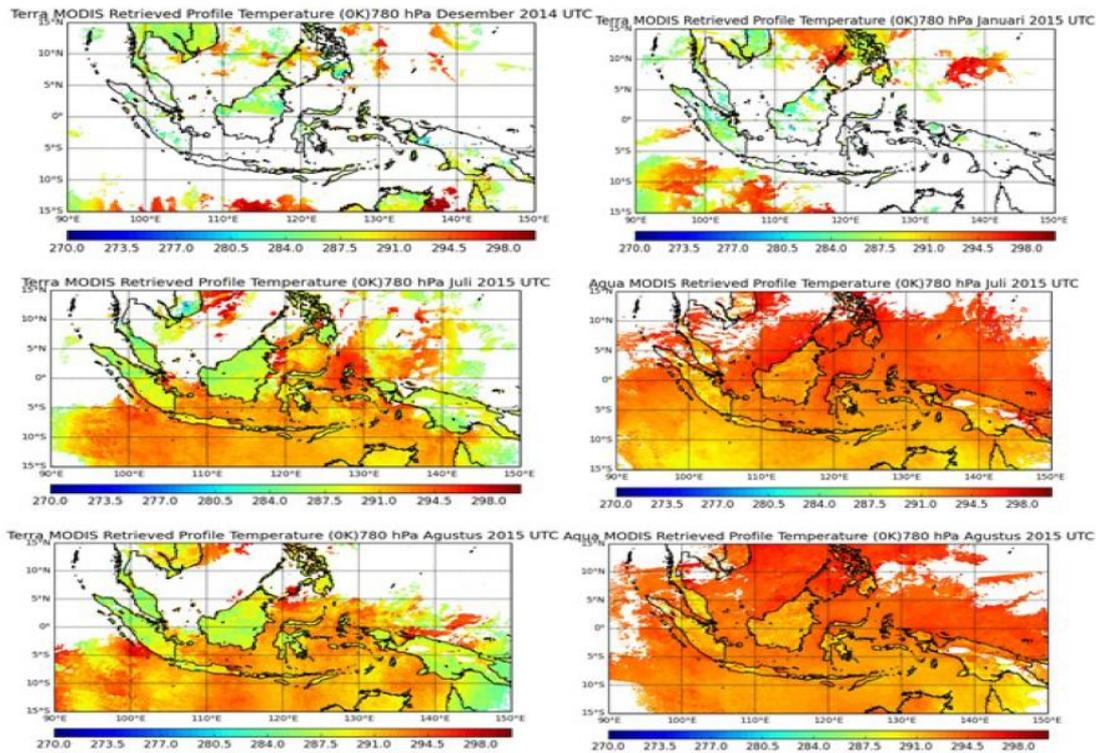
Sumber: Gaol et al. (2014)

**Gambar 2.** Peta distribusi suhu permukaan laut bulanan (Jul-Des) di Perairan Indonesia



Sumber: Gaol et al. (2014)

**Gambar 3.** a. sebaran perbedaan data suhu pada citra dan data lapang; b. fluktuasi suhu permukaan laut perekaman siang dan malam.



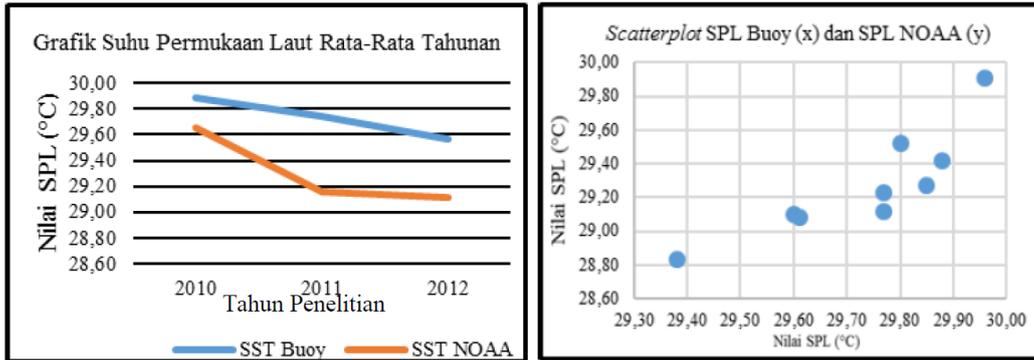
Sumber: (Sipayung *et al.*, 2016).

**Gambar 4.** Suhu permukaan laut di Indonesia dengan Terra/Aqua MODIS *grided* Desember 2014, Januari, Juli, dan Agustus 2015.

Berdasarkan waktu perekaman sensor satelit, SPL hasil perekaman siang hari lebih tinggi dari pada perekaman malam hari dengan rata-rata perbedaan sekitar 1°C (Gambar 3.b). Variasi SPL akibat pengaruh musim dan iklim global serta waktu perekaman sensor satelit perlu dipertimbangkan untuk pembuat peta umum SPL yang berlaku di perairan Indonesia (Gaol *et al.*, 2014). Hasil kajian SPL oleh (Sipayung *et al.*, 2016) dengan menggunakan satelit MODIS di perairan Indonesia dapat terlihat pada Gambar 4. Hasil SPL yang diperoleh merupakan ekstraksi data satelit *Terra/Aqua* MODIS suhu dan uap air pada bulan Juli dan Agustus 2015 dari data *swath* harian menjadi data *grided* bulanan. Terlihat pada bulan Desember 2014 dan Januari 2015 (Gambar 4.a dan 4.b), diperoleh data citra yang banyak dipengaruhi awan, sehingga data SPL hanya sedikit dan tidak dapat menginterpretasi kondisi SPL perairan Indonesia. Data cukup baik diperoleh pada bulan Juli-Agustus 2015. Kondisi SPL di Indonesia terlihat cukup tinggi pada bulan Juli 2015 dengan kisaran 29.1-29.8°C (Gambar 4.d), terutama pada perairan bagian utara Indonesia. Pada bulan-bulan Juli dan Agustus, merupakan terjadinya angin muson tenggara (musim timur), sehingga angin bergerak dari arah tenggara (Australia) menuju daratan Asia. Hal ini menyebabkan pada perairan bagian selatan Indonesia memiliki SPL yang lebih rendah. Hasil pengukuran SPL

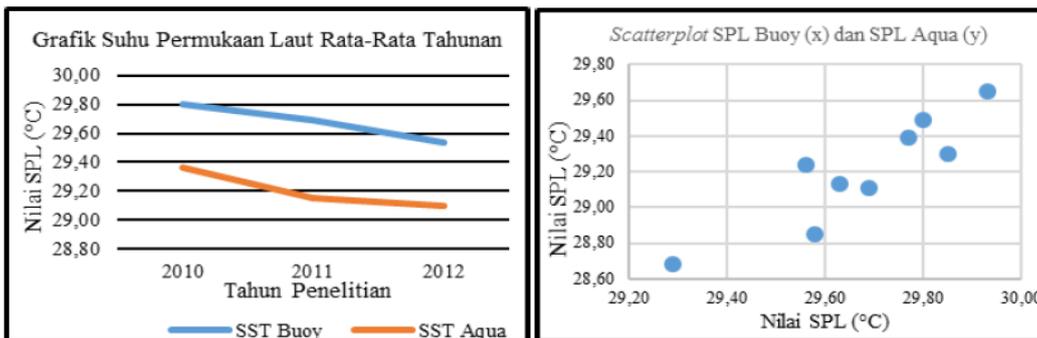
dari satelit MODIS ini diperoleh nilai koefisien korelasi rata-rata sebesar  $r=0.72$  dan  $RMSE=0.74^{\circ}C$ .

Dibandingkan dengan hasil Sunarernanda *et al.* (2017), hasil yang diperoleh (Sipayung *et al.*, 2016) tersebut sedikit lebih tinggi. Namun masih dapat menginterpretasikan SPL dalam skala yang regional di Indonesia. Pada kajian paling timur perairan Indonesia yang dilakukan oleh (Sunarernanda *et al.*, 2017), diperoleh hasil bahwa pada perairan bagian utara Papua terjadi penurunan kondisi SPL sejak tahun 2010 – 2012. Hal ini diperoleh dari hasil interpretasi menggunakan satelit NOAA-AVHRR, juga satelit MODIS sebagai data pembandingan, serta data lapang dari *Buoy*. Kisaran SPL rata-rata tahunan di perairan utara Papua adalah sekitar 29.11-29.65°C (hasil estimasi satelit NOAA), sedangkan pengukuran di lapang (*Buoy*) memiliki kisaran rata-rata tahunan SPL sebesar 29.53-29.89°C (Gambar 5). Menurut Sunarernanda *et al.* (2017) bahwa nilai rata-rata RMSE terkecil terdapat pada pengukuran SPL menggunakan NOAA-AVHRR dengan rata-rata bias sebesar -0.43 dan rata-rata RMSE 0.2228°C. Artinya kesalahan yang diperoleh dari satelit NOAA-AVHRR dalam mengukur SPL cukup kecil, sehingga citra tersebut memiliki data yang baik dan cukup sesuai dengan SPL yang terjadi sebenarnya di lapang.



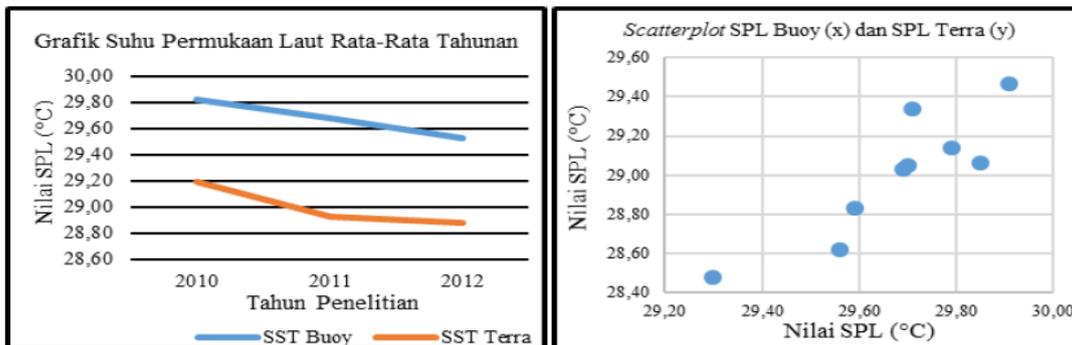
Sumber: Sunarernanda et al. (2017)

**Gambar 5.** Hasil suhu permukaan laut data satelit NOAA dan pengukuran lapang



Sumber: Sunarernanda et al. (2017)

**Gambar 6.** Hasil suhu permukaan laut data satelit MODIS (*Aqua*) dan pengukuran lapang

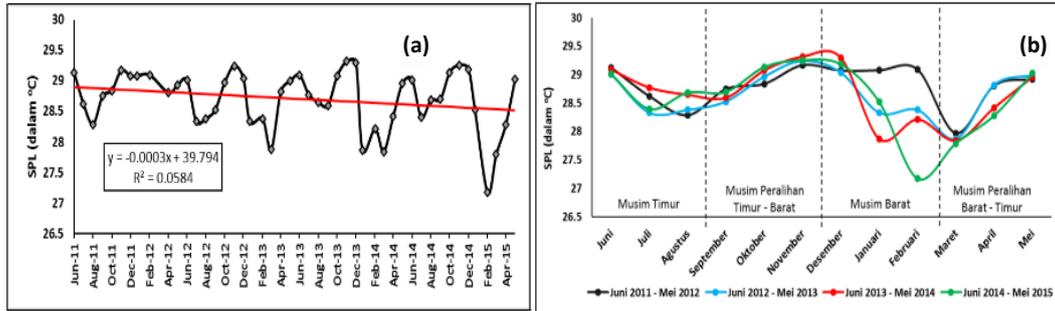


Sumber: Sunarernanda et al. (2017).

**Gambar 7.** Hasil suhu permukaan laut data satelit MODIS (*Terra*) dan pengukuran lapang

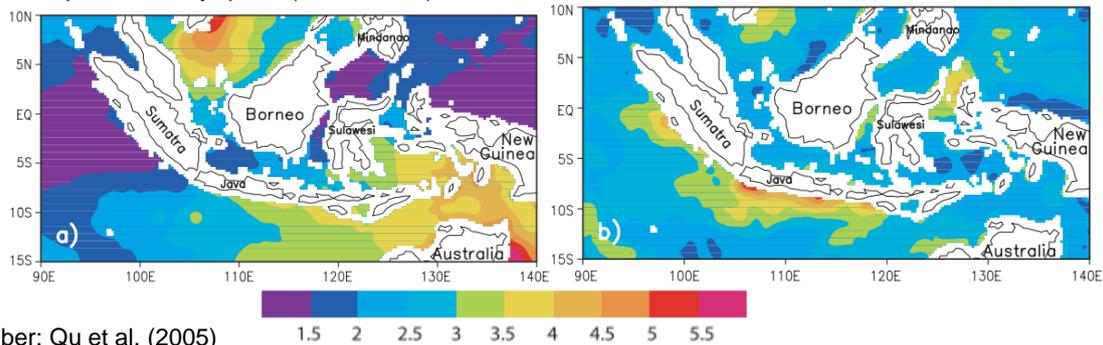
Gambar 6 dan Gambar 7 menampilkan hasil pengukuran dengan satelit MODIS (*Aqua* dan *Terra*). Hasil SPL data satelit MODIS (*Aqua*) adalah sebesar 29.10-29.36°C, data satelit MODIS (*Terra*) sebesar 28.88-29.19°C. dari hasil-hasil yang diperoleh tersebut, terdapat kesesuaian antara data citra satelit (NOAA dan MODIS) dengan data lapang *Buoy*, meskipun nilainya sedikit berbeda namun pola yang dihasilkan sama yaitu sama-sama mengalami penurunan dari tahun 2010 ke tahun 2011, kemudian dari tahun 2011 ke tahun 2012 (Sunarernanda *et al.*, 2017). Namun nilai RMSE yang diperoleh dari interpretasi citra MODIS yaitu 0.2461°C (*Aqua*) dan 0.4854°C (*Terra*) sedikit lebih tinggi dari hasil interpretasi satelit NOAA. Dari nilai RMSE tersebut juga

terlihat perbedaan dalam pengukuran oleh satelit MODIS (*Aqua* dan *Terra*), dimana terlihat bahwa satelit *Aqua*-MODIS lebih baik dan cukup tepat dalam interpretasi SPL dibandingkan dengan satelit *Terra*-MODIS. (Hamuna *et al.*, 2015) juga melakukan kajian pada perairan Jayapura dengan estimasi satelit MODIS data selama 4 tahun (2011-2015). Umumnya SPL rata-rata bulanan pada perairan Jayapura hangat, berkisar antara 25-31°C, dengan dominan suhu antara 27-29°C. SPL pada perairan Jayapura mengalami variasi secara musiman, tentunya hampir sama dengan kajian SPL yang dilakukan di beberapa lokasi pada perairan Indonesia.



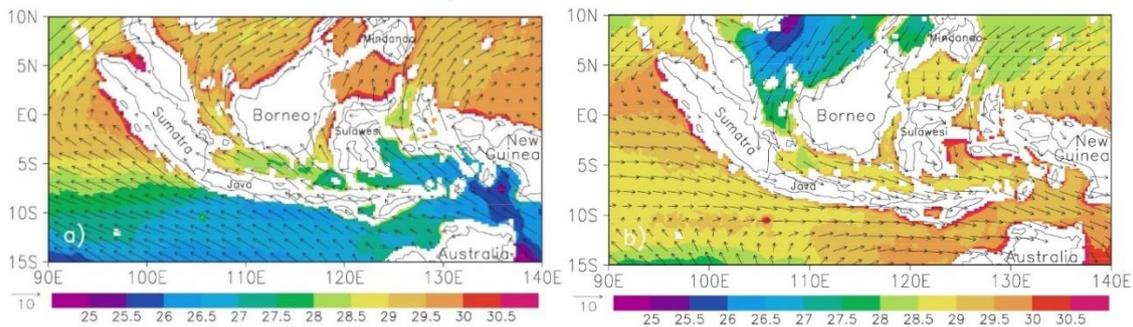
Sumber: Hamuna et al. (2015)

**Gambar 8.** (a) Variabilitas temporal SPL dan (b) Variabilitas SPL rata-rata bulanan (musim) pada perairan Jayapura (2011-2015)



Sumber: Qu et al. (2005)

**Gambar 9.** Variabilitas SPL (satelit TRMM, 1997-2004), a) musim, b) tahunan

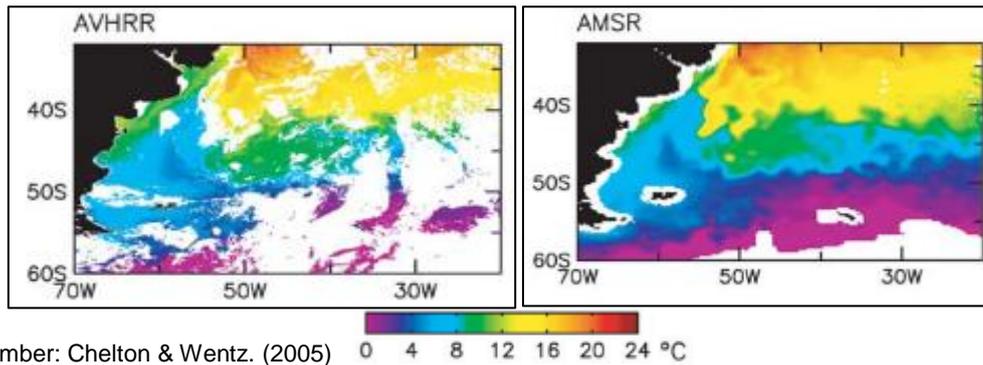


Sumber: Qu et al. (2005)

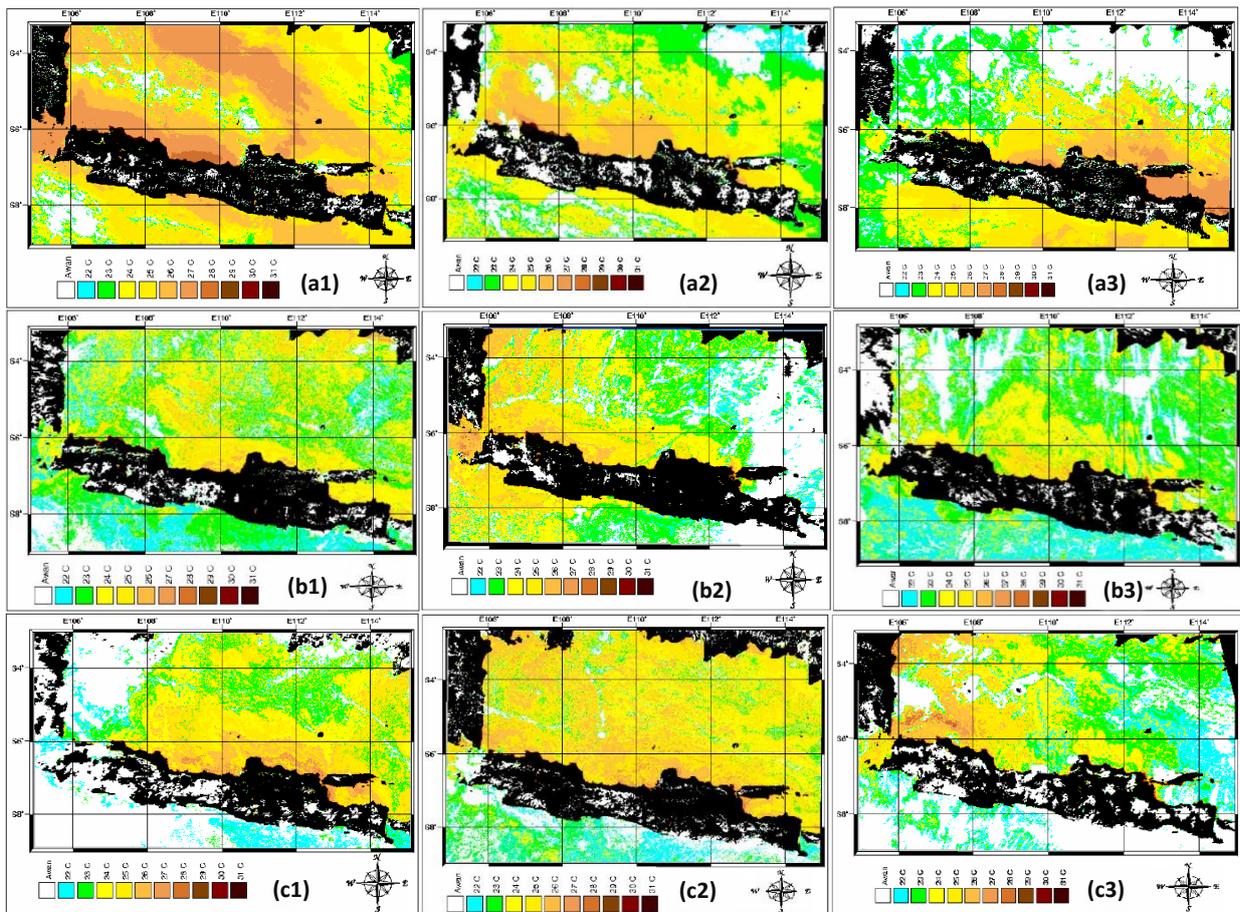
**Gambar 10.** SPL rata-rata bulanan (satelit TRMM, 1997-2004), a) Agustus, b) Februari

Berdasarkan estimasi citra satelit TRMM dengan sensor *microwave*, sebaran SPL pada perairan Indonesia data bulan Januari - Desember 2008 dengan kisaran 21-31°C (Hasyim *et al.*, 2010). Sebaran SPL tertinggi terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, dan April, terutama pada perairan Indonesia bagian utara dan timur, sedangkan SPL terendah terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus terutama pada perairan Indonesia bagian selatan. Hal ini tentunya berkaitan dengan musim (angin muson). Selain itu, terjadinya SPL dengan nilai terendah mencapai kisaran 23-26°C, mencirikan terjadinya *upwelling* pada perairan Indonesia bagian selatan, terutama selatan Jawa, selatan Flores (selatan Selat Makasar). Variabilitas SPL mempunyai pengaruh yang penting terhadap sistem ekologi kelautan di Indonesia (Qu, Du, Strachan, Meyers, & Slingo, 2005). Nilai SPL (estimasi satelit TRMM 1997-2004) terbesar terjadi pada

perairan Timor, Arafuru, Banda, dan Laut Cina Selatan, dimana puncak SPL dengan variabilitas melebihi 4°C (Gambar 9). Nilai rata-rata bulanan SPL (data 1997-2005) adalah kisaran 25-30.5°C (Gambar 10). Terlihat dari Gambar 10 bahwa musim (angin muson) sangat berpengaruh terhadap kondisi SPL di perairan Indonesia. Pada saat angin muson barat, angin terutama datang dari daratan Asia menuju daratan Australia sehingga perairan Indonesia pada bagian selatan lebih hangat dibandingkan bagian utara (Gambar 10.b). Sebaliknya pada saat angin muson Timur, arah angin dari tenggara (daratan Australia) menuju daratan Asia, terlihat kondisi SPL perairan Indonesia bagian selatan menjadi lebih rendah (Gambar 10.a). Kondisi SPL perairan selatan Indonesia yang rendah sekitar bulan Agustus, ditandai juga dengan terjadinya fenomena *upwelling*.



sumber: Chelton & Wentz. (2005) 0 4 8 12 16 20 24 °C  
**Gambar 11.** Perbandingan estimasi SPL dengan sensor AVHRR dan AMSR/Microwave



Sumber: Yusniati (2006).  
**Gambar 12.** Sebaran SPL; (a1-a3) tanggal 7, 17, dan 29 Juli 2001, (b1-b3) tanggal 8, 14, dan 27 Agustus 2001, dan (c1-c3) tanggal 7, 14, dan 20 September 2001

Pada perairan Indonesia, penggunaan sensor *microwave* untuk estimasi SPL belum banyak dilakukan. Akurasi dari penggunaan sensor *microwave* untuk estimasi SPL dapat mencapai 0.5°C (Chelton & Wentz, 2005). Penggunaan sensor *microwave* juga menghindari gangguan dari atmosfer terutama tutupan awan (Gambar 11).

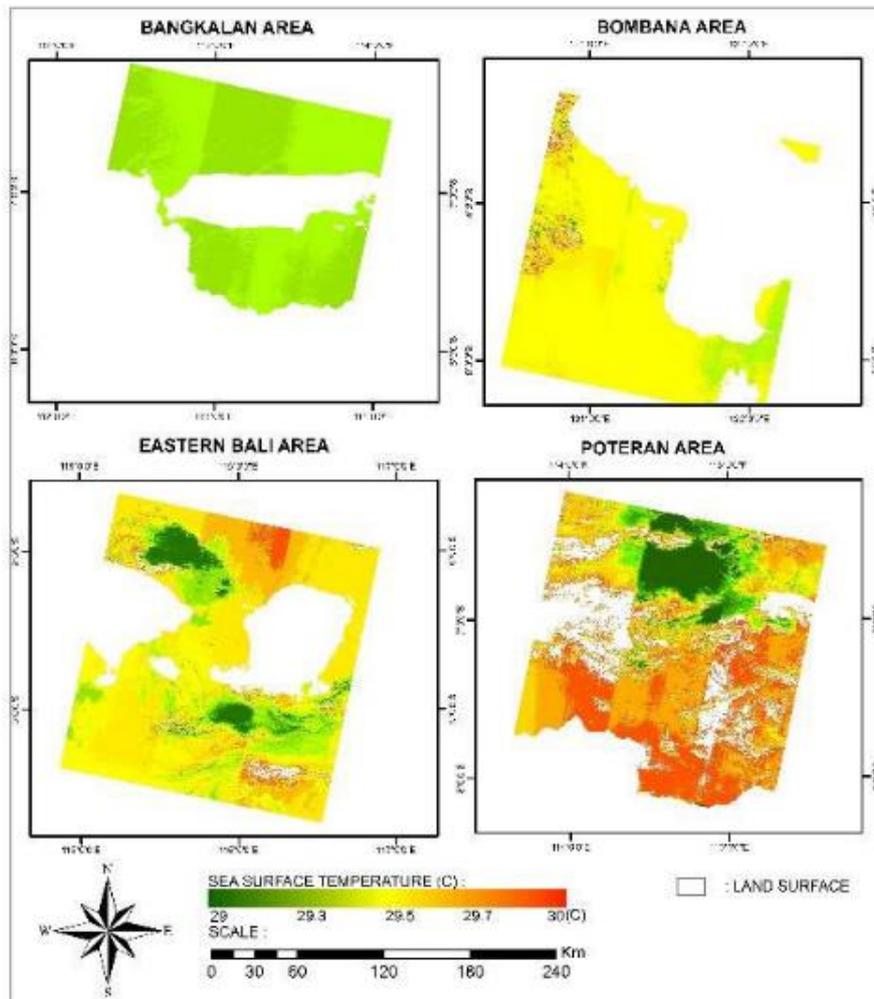
Hasil kajian (Nababan & Simamora, 2012) terkait SPL dengan satelit NOAA (1998 – 2009) di Perairan Natuna berkisar antara 23.46-31.95°C. Secara umum SPL tinggi terjadi pada

musim timur (Mei-Agustus). Variabilitas SPL berkisar antara 23.46-30.88°C pada musim barat dan lebih rendah dibandingkan dengan musim timur sebesar 27.91-31.95°C. Selain itu, nilai SPL cenderung lebih rendah pada daerah *offshore* dan meningkat menuju perairan pantai. Hasil estimasi MODIS (bulan November 2015) pada perairan Kepulauan Riau berkisar 20 – 29.1°C (Tampubolon *et al.*, 2016). Nilai RMSE rata-rata citra Aqua MODIS adalah 0.1022°C, cukup rendah dan memenuhi toleransi nilai RMSE yang diperbolehkan. Ke dua pengukuran SPL pada perairan Natuna

(NOAA) dan Perairan Kepulauan Riau (MODIS) memiliki hasil yang cukup mirip, dimana terjadi kondisi SPL lebih rendah pada musim barat.

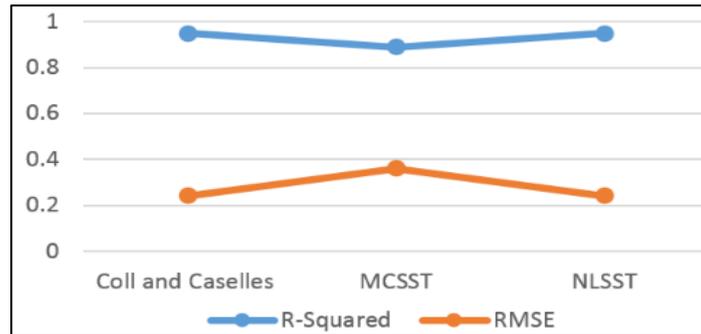
Menurut (Yusniati, 2006), pada bulan Juli, Agustus, dan September di perairan Laut Jawa diperoleh nilai SPL rata-rata bulanan sekitar 22-31°C, terutama dengan suhu dominan 24-26°C (Juli dan Agustus) (Gambar 12.a1-12.a3 dan 13.b1-13.b3). Pada bagian utaranya berkisar 25-31°C, sedangkan bagian selatan lebih tinggi (27-31°C). Pergerakan SPL pada musim timur sangat dipengaruhi oleh pola angin dan pola arus permukaan. Pada musim timur, SPL di perairan Laut Jawa cenderung lebih rendah, terutama di bagian barat. Adanya *upwelling* di Laut Banda, yang membawa masa air dingin ke arah Laut Flores kemudian masuk ke dalam perairan Laut Jawa. Sehingga masa air hangat yang ada di perairan Laut Jawa terdesak ke

arah barat. Pada saat musim timur masa air perairan selatan Jawa – Sumbawa mengalami kondisi SPL terendah akibat pergerakan angin muson tenggara (Tubalawony, 2009). Sedangkan saat musim barat bertiup angin muson barat laut, dapat meningkatkan SPL di sepanjang perairan selatan Jawa – Sumbawa. Sebaran SPL bulanan rata-rata selama musim timur di perairan selatan Jawa-Sumbawa sebesar 25.76 – 28.92°C (estimasi NOAA tahun 1990-2005). Kondisi pada musim barat, pada perairan Bali-Sumbawa bagian selatan, terjadi suplai air hangat dengan SPL rata-rata sebesar 28.41 – 29.94°C. Secara spasial, sebaran SPL pada lokasi perairan ini menunjukkan variabilitas yang cukup tinggi yang dapat disebabkan oleh dinamika massa air (pengaruh musim). Secara temporal, terlihat perubahan pola musimannya dengan pengaruh tiupan angin muson.



Sumber: Jaelani & Alfatinah (2017)

**Gambar 13.** SPL beberapa perairan di Indonesia (estimasi Landsat)



Sumber: Bayat & Hasanlou (2016)

**Gambar 14.** Akurasi SPL dengan estimasi citra Landsat

Untuk penggunaan satelit LANDSAT dalam estimasi SPL terutama pada LANDSAT-8 Operational Land Imager (OLI), memiliki sensor *thermal infrared* (TIRS). Namun untuk kajian SPL di perairan Indonesia tidak banyak dilakukan/ditemukan. Landsat 8 dengan sensor *thermal brightness temperature* memiliki hubungan yang mendekati terhadap pengukuran SPL, dengan nilai  $r^2$  (*determination coefficient*) di atas 0.600 dan *Normalized Mean Absolute Error* (RMSE) sebesar 0.912 dan 0.028 (Syariz *et al.*, 2015). (Jaelani & Alfatinah, 2017) mengkaji SPL pada beberapa perairan di Indonesia menggunakan LANDSAT 8, dengan berbagai formula yang digunakan. Sekitar perairan Bali memiliki kisaran SPL 27.353 – 28.243°C (formula Syariz), 16.923 - 19.073°C (formula Plank), 20.323 - 22.415°C (formula MWA), 27.84 – 30.232°C (formula SWA). Dari ke 4 formula yang digunakan, diperoleh NMAE terendah pada formula Syariz sebesar 2.408% dan formula SWA sebesar 9.865%. Perairan Madura (Bangkalan) dengan SPL sebesar 21.153 – 28.243°C (formula Syariz), 23.695 - 28.75°C (formula Plank), 23.627 - 28.679°C (formula MWA), 25.796– 36.618°C (formula SWA). Pada kondisi SPL yang diperoleh NMAE terendah terdapat pada formula SWA sebesar 4.204%. Pada perairan Poteran (Madura) dengan SPL sebesar 28.88 – 31.997°C (formula Syariz), -0.5 - 10.934°C (formula Plank), -0.604 - 10.871°C (formula MWA), 22.175 – 34.081°C (formula SWA). NMAE terendah masih terdapat pada formula SWA sebesar 3.452% dan formula Syariz sebesar 0.218%. Pada Perairan Bombana (Sulawesi Tenggara) diperoleh SPL sebesar 28.549 – 28.611°C (formula Syariz), 23.011 - 23.644°C (formula Plank), 22.999 - 23.632°C (formula MWA), 32.848 – 33.641°C (formula SWA). NMAE terendah masih terdapat pada formula SWA sebesar 6.225%. Bahkan (Bayat & Hasanlou, 2016) menghasilkan estimasi SPL menggunakan citra Landsat dengan koefisien korelasi  $r^2$  sebesar 0.95 dan RMSE=0.24 K menggunakan formula/algorithm NLSST (Gambar 14).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Rata-rata SPL di perairan Indonesia (NOAA, 1993 – 2003) adalah 26-31°C, memiliki akurasi >90 %, selisih nilai SPL dengan pengukuran lapang sebesar 0.2°C. Kondisi SPL di Indonesia cukup tinggi pada bulan Juli 2015 dengan kisaran 29.1-29.8°C (estimasi MODIS), nilai koefisien korelasi  $r=0.72$  dan RMSE (*Root Mean Square Error*) = 0.74. Akurasi sensor *microwave* dalam estimasi SPL mencapai 0.5°C, bebas dari pengaruh tutupan awan. Sebaran SPL (TRMM tahun 2008) pada perairan Indonesia sebesar 21-31°C. Pada perairan timur Indonesia (utara Papua), hasil SPL estimasi MODIS (*Aqua*) adalah sebesar 29.10-29.36°C, MODIS (*Terra*) sebesar 28.88-29.19°C. Nilai RMSE yang diperoleh dari interpretasi citra MODIS yaitu 0.2461 (*Aqua*) dan 0.4854 (*Terra*). Pada perairan utara Papua ini, nilai SPL rata-rata (estimasi NOAA, tahun 2010-2012) sebesar 29.11-29.65°C dengan bias sebesar -0.43 dan rata-rata RMSE 0.2228 °C. Akurasi sensor *microwave* dalam estimasi SPL mencapai 0.5°C, bebas dari pengaruh tutupan awan. Sebaran SPL (TRMM/*Microwave* tahun 2008) pada perairan Indonesia sebesar 21-31°C. Menggunakan formula/algorithm NLSST diperoleh hasil estimasi SST lebih baik dengan nilai koefisien korelasi hingga 0.95 dan RMSE 0.24 K.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Bisman Nababan, M.Sc, yang telah me *review* isi dari makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aini, M. Q. (2007). Kajian Distribusi Potensi Fitoplankton Di Sebagian Laut Utara Jawa Menggunakan Citra MODIS. In *Proceeding Geo-Marine Research Forum 2007*.
- Annas, R. (2009). Pemanfaatan Data Satelit MODIS Untuk Menentukan Suhu

- Permukaan Laut. *Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, 1–10.
- Arief, M., Adawiah, S. W., Parwati, E., Hamzah, R., & Prayogo, T. (2015). Pengembangan Model Ekstraksi Suhu Permukaan Laut Menggunakan Data Satelit Landsat 8 (Studi Kasus Teluk Lampung). *Jurnal Penginderaan Jauh*, 12(2), 107–122.
- Ayu, D., Bangun, M., & Lalu, M. (2012). *Studi Perubahan Suhu Permukaan Laut*. ITS.
- Bayat, F., & Hasanlou, M. (2016). Feasibility Study of Landsat-8 Imagery For Retrieving Sea Surface Temperature (Case Study Persian Gulf). In *Remote Sensing and Spatial Information Science* (Vol. XLI, pp. 1107–1110). <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-1107-2016>
- Cahyono, A. B., Armono, H. D., & Saptarini, D. (2017). Estimation of Sea Surface Temperature ( SST ) Using Split Window Methods for Monitoring Industrial Activity in Coastal Area, (Januari).
- Chelton, D. B., & Wentz, F. J. (2005). Global Microwave Satellite Observations of Sea Surface Temperature for Numerical Weather Prediction and Climate Research. *Americal Meterological Society Journal*, (AUGUST), 1097–1115. <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1097>
- Gaol, J. L., Arhatin, R. E., & Ling, M. M. (2014). Pemetaan Suhu Permukaan Laut Dari Satelit Di Perairan Indonesia Untuk Mendukung “One Map Policy.” In *Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014* (pp. 433–442).
- Hamuna, B., Paulangan, Y. P., & Dimara, L. (2015). Kajian Suhu Permukaan Laut Menggunakan Data Satelit Aqua-MODIS di Perairan Jayapura, Papua. *Jurnal Depik Unsyiah*, 4(3), 160–167.
- Harsanugraha, W. K., & Parwati, E. (1992). *Aplikasi Algoritma Multi Kanal Untuk Estimasi SST Menggunakan Data AVHRR/2 NOAA-11*. Jakarta: LAPAN.
- Hartoko, A. (2013). *Oceanographic Characteristers and Plankton Resources of Indonesia*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Hasyim, B., Sulma, S., & Hartuti, M. (2010). Kajian Dinamika Suhu Permukaan Laut Global Menggunakan Data Penginderaan Jauh Microwave. *Majalah Sains Dan Teknologi Dirgantara*, 5(4), 130–143.
- Hutabarat, S., & Evans, S. M. (2014). *Pengantar Oseanografi* (2nd ed.). Jakarta: UI Press.
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. (2012). The next Landsat satellite : The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, xxx(xxx–xxx). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
- Jaelani, L. M., & Alfatinah, A. (2017). Sea Surface Temperature Mapping at Medium Scale Using Landsat 8-TIRS Satellite Image. In *Regional Conference in Civil Engineereing* (pp. 582–587). Surabaya, Indonesia. <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2017i6.3307>
- Kemili, P., & Putri, M. R. (2012). Pengaruh Durasi dan Intensitas Upwelling Berdasarkan Anomali Suhu Permukaan Laut Terhadap Variabilitas Produktivitas Primer di Perairan Indonesia. *Jurnal ITKT*, 4(1), 66–79.
- Knight, E. J., & Kvaran, G. (2014). Landsat-8 Operational Land Imager Design, Characterization and Performance. *Semote Sensing Journal*, 6, 10286–10305. <https://doi.org/10.3390/rs61110286>
- LAPAN [Lembaga Penerbangan dan Antariksa Negara]. (2000). *Pola Distribusi Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil untuk Penentuan Daerah Potensi Ikan Laut di Perairan Maluku*. Jakarta.
- Nababan, B. (2018). *Ocean Color Satellite And Its Applications*.
- Nababan, B., & Simamora, K. (2012). Variabilitas Konsentrasi Klorofil-A dan Suhu Permukaan Laut di Perairan Natuna. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 4(1), 121–134.
- NASA [National Aeronautics and Space Administration]. (n.d.). Sea Surface Temperature. Retrieved October 4, 2018, from <https://podaac.jpl.nasa.gov/SeaSurfaceTemperature>.
- Ndossi, M. I., Avdan, U., Ndossi, M. I., & Avdan, U. (2016). Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. *Jurnal Remote Sensing*, 8(5).
- NOAA [National Centers for Environmental Information]. (n.d.). Sea Surface Temperature and Winds. Retrieved October 4, 2018, from <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/sea-surface-temperatures-sst-and-winds>.
- Nontji, A. (2007). *Laut Nusantara* (5th ed.). Jakarta: Djambatan.
- Nurheryanto. (2009). *Sebaran Suhu Permukaan Laut di Perairan Utara Sumbawa Menggunakan Citra Satelit MODIS*. IPB.
- Qu, T., Du, Y., Strachan, J., Meyers, G., &

- Slingo, J. (2005). Sea Surface Temperature and Its Variability In The Indoneisan Region. *Journal of Oceanography*, 18(4), 50–61.
- Ritchie, J. C., & Charles, M. C. (2001). Remote Sensing Technique for Determining Water Quality: Applications to TMDLs. In *TMDL Science Issues Conference* (pp. 367–374).
- Sipayung, S. B., Krismianto, & Risyanto. (2016). Analisis Temperatur dan Uap Air Berbasis Satelit TERRA/AQUA (MODIS, LEVEL-2). *Jurnal Penginderaan Jauh*, 13(1), 23–34.
- Sunarernanda, D. P., Sasmito, B., Prasetyo, Y., & Wirasatria, A. (2017). Analisis Perbandingan Data Citra Satelit Eos Aqua/Terra Modis dan NOAA AVHRR Menggunakan Parameter Suhu Permukaan Laut. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 6(1), 218–227.
- Suwargana, N., & Arief, M. (2004). Penentuan Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil Untuk Pengembangan Model Prediksi Fishing Ground Dengan Menggunakan Data Modis. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 1(1), 1–13.
- Sverdrup, H. U., Johnson, M. W., & Fleming, R. H. (1942). *The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology*. Prentice-Hall, New York.
- Syaifullah, M. D. (2015). Suhu Permukaan Laut Perairan Indonesia dan Hubungannya dengan Pemanasan Global. *Jurnal SEGARA*, 11(2), 103–113.
- Syariz, M. A., Jaelani, L. M., Subehi, L., Pamungkas, A., Koenhardono, E. S., & Sulisetyono, A. (2015). Retrieval of Sea Surface Temperature Over Poteran Island Water of Indonesia with LANDSAT 8 TIRS IMAGE: A Preliminary Algorithm. In *Remote Sensing and Spatial Information Science* (Vol. XL-2/W4, pp. 87–90). Kuala Lumpur, Malaysia. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W4-87-2015>
- Tampubolon, A. B., Gustin, O., & Chayati, S. N. (2016). Pemetaan Suhu Permukaan Laut Menggunakan Citra Satelit AQUA MODIS di Perairan Provinsi Kepulauan Riau, 1–11. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11693.08161>
- Tubalawony, S. (2009). Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Kaitannya Dengan Sistem Angin Muson di Perairan Selatan Jawa - Sumbawa. *Jurnal SEGARA*, 5(1), 1–13.
- USGS [U.S. Geological Survey]. (n.d.). About Landsat. Retrieved November 10, 2018, from <https://landsat.usgs.gov/about-landsat>.
- USGS [U.S. Geological Survey]. (n.d.). Advanced Very High Resolution Radiometric (AVHRR) Sensor Characteristics. Retrieved October 21, 2018, from [https://ita.cr.usgs.gov/1km/avhrr\\_sensor](https://ita.cr.usgs.gov/1km/avhrr_sensor).
- USGS [U.S. Geological Survey]. (2013). *Using the USGS Landsat Product*.
- Wentz, F. J., & Meissner, T. (2007). Algorithm Theoretical Basis Document for AMSR-E Ocean Algorithms. *RSS Tech*, 1–6.
- Wyrtki, K. (1961). *NAGA REPORT (Scientific Results of Marine Investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961)* (2 ed). La Jolla, California: Scripps Institution of Oceanography - The University of California.
- Yati, E., Setiawan, K. T., Manopo, A. K., Budhiman, S., & Hasyim, B. (2014). Analisis Multitemporal Sebaran Suhu Permukaan Laut di Perairan Lombok Menggunakan Data Penginderaan Jauh MODIS. In *Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014* (pp. 470–479).
- Yusniati, M. (2006). *Analisis Spasial Suhu Permukaan Laut di perairan Laut Jawa pada Musim Timur dengan Menggunakan Data Digital Satelit NOAA16-AVHRR*. IPB.
- Zahroh, L., & Sukojo, B. M. (2016). Analisis Suhu Permukaan Laut untuk Penentuan Daerah Potensi Ikan Menggunakan Citra Satelit Modis Level 1B (Studi Kasus: Selat Bali). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), A846–A849.