

Kemampuan Sensor Pasif Microwave untuk Mendeteksi Suhu Permukaan Laut

Yennie Marini, Anneke K.S. Manoppo, dan Wawan K. Harsanugraha

Abstrak

Suhu permukaan laut (SPL) dapat diperoleh dari pengukuran langsung atau dari ekstraksi data satelit penginderaan jauh. Penentuan SPL dari satelit penginderaan jauh dapat dilakukan baik menggunakan sensor termal infrared maupun pasif microwave. Umumnya pengukuran SPL berdasarkan data penginderaan jauh dilakukan dengan menggunakan sensor inframerah. Pada penelitian ini akan dibahas kemampuan sensor pasif microwave, yaitu TRMM Microwave Imaging (TMI) untuk menghasilkan informasi SPL dan bagaimana korelasi nilai SPL yang dihasilkan oleh sensor TMI dengan sensor inframerah (MODIS), serta melihat SPL hasil penggabungan dari sensor microwave dan inframerah secara umum. Hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa sebaran SPL TMI serupa dengan SPL MODIS dengan akurasi $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ dan mempunyai koefisien korelasi 0.938. Hasil gabungan data sensor inframerah dan sensor microwave secara umum lebih baik bila dibandingkan informasi SPL hasil pengukuran data inframerah atau data microwave saja.

Kata kunci: *Sensor Inframerah, Sensor Pasif Microwave, Suhu Permukaan Laut*

Abstract

Sea surface temperature (SST) can be obtained from direct measurement or from satellite remote sensing data extraction. Determination of SST from satellite remote sensing can be done either using infrared thermal sensors or passive microwave. Generally, SST measurements by remote sensing data were performed using an infrared sensors. In this study, we will discuss the capabilities of passive microwave sensor, which is the TRMM Microwave Imaging (TMI) to generate SST and investigate the correlation SST value generated by TMI sensor with infrared sensor which is MODIS, and view the combination of SST of microwave and infrared sensors in general. The study provides information that SST TMI sea distribution similar to SST MODIS with an accuracy of about ± 0.6 °C, and has correlation coefficient of 0.938. The SST combination of those two data was much better than the SST data measurement results of infrared or microwave data only.

Keywords: *Infrared Sensor, Pasif Microwave Sensor, Sea Surface Temperature, MODIS, TMI*

1. Pendahuluan

Suhu Permukaan Laut (SPL) merupakan salah satu parameter geofisika yang sangat penting bagi kehidupan organisme di laut, karena suhu dapat memengaruhi metabolisme maupun perkembangbiakan dari organisme di laut. Dalam Medellu (1986) dikatakan bahwa SPL merupakan parameter yang berhubungan dengan berbagai fenomena laut, sehingga SPL dapat digunakan untuk mengidentifikasi *upwelling*, *front*, arus laut, arus eddie, konsentrasi ikan dan kemungkinan kandungan mineral. Lebih jauh Qu *et al.*, 2005 mengatakan dinamika regional laut dan SPL merupakan faktor penting yang memengaruhi dinamika iklim regional dan iklim global.

Data SST dapat diukur langsung di perairan laut atau diekstraksi berdasarkan data satelit penginderaan jauh. Terdapat dua jenis data satelit, yaitu data optik dan data radar. Salah satu kelebihan data radar dibandingkan data optik adalah kemampuannya menembus lapisan awan di atmosfer. Salah satu jenis data satelit radar yang dewasa ini banyak dimanfaatkan adalah data Tropical Rainfall Measuring Mission - Microwave Imager (TMI). Ekstraksi data SST berbasis data TMI dan pembahasannya tentang berbagai aspeknya telah dilakukan antara lain oleh Seeni dan Md. Reba (2001); Bhat, Vecchi, dan Gadgit (2004); Ffield (2005); Reynold *et al.* (2004); Gentemann *et al.* (2004). Seeni dan Md. Reba (2001) melakukan ekstraksi SST berdasarkan TMI di Laut China Selatan pada tahun 2000 dan mendapat korelasi antara SST data TMI dengan data *in situ* sebesar 0,89. Hasil penelitian Bhat, Vecchi, dan Gadgit (2004) menunjukkan bahwa perbedaan antara Buoy dengan SST TMI adalah kurang dari 0,5⁰C di pusat teluk dan sebesar 0,7⁰C di bagian tengah Teluk Bangal.

Pengukuran besaran SPL dapat dengan mudah dilakukan dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh satelit. Sensor inframerah yang dilengkapi pada sebuah satelit akan memberikan informasi spasial dan

informasi temporal yang dibutuhkan dalam memahami besaran nilai dan perubahan SPL. Sensor ini sensitif terhadap radiasi yang dipancarkan pada panjang gelombang 10–12 μm , namun pada puncak spectrum emisi thermal Planck dengan temperatur sekitar 300K, emisi ini dipengaruhi oleh awan. Sebagian kecil energi dari suhu 300K ini dipancarkan oleh gelombang microwave pada selang 10–100 GHz di mana radiasi ini tidak dipengaruhi oleh awan.

Pengukuran SPL dengan sensor inframerah dalam hal ini sensor MODIS yang dibawa oleh satelit Aqua telah banyak diaplikasikan dan dikembangkan. Salah satu contoh penelitian yang pernah dilakukan di LAPAN, adalah penelitian dengan judul Penentuan *Suhu Permukaan Laut* dan Konsentrasi Klorofil untuk Pengembangan Model Prediksi SST/Fishing Ground dengan Menggunakan Data **Modis** oleh Suwargana dan Arief (2005) yang menunjukkan bahwa hasil pengolahan SPL dari data MODIS dengan menggunakan metode Minnet (2001) memiliki pola dan nilai yang mendekati SPL dari data NOAA-AVHRR yang lebih dahulu beroperasi secara rutin untuk memberikan informasi SPL global di seluruh dunia.

Satelit Aqua pada mulanya dikenal dengan sebutan satelit EOS PM-i (Earth Observing System) yang diluncurkan pada tanggal 4 Mei 2002 dengan membawa 6 sensor dan salah satunya adalah sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). MODIS mengorbit bumi secara polar (arah utara-selatan) pada ketinggian 705 km dan melewati garis khatulistiwa pada jam 10:30 waktu lokal. Lebar cakupan lahan pada permukaan bumi setiap putarannya sekitar 2330 km. Pantulan gelombang elektromagnetik yang diterima sensor MODIS sebanyak 36 bands (36 interval panjang gelombang), mulai dari 0.405 sampai 14.385 μm (1 μm = 1/1.000.000 meter). Data terkirim dari satelit dengan kecepatan 11 Mega bytes setiap detik dengan resolusi radiometrik 12 bits. Artinya obyek dapat dideteksi dan dibedakan sampai 212 (= 4.096) derajat keabuan (*grey levels*). Satu elemen citranya (*pixels, picture element*) berukuran 250 m (band 1–2), 500 m (band 3–7), dan 1.000 m (band 8–

36). Di dalam dunia penginderaan jauh (*remote sensing*), ini dikenal dengan resolusi spasial. MODIS dapat mengamati tempat yang sama di permukaan bumi setiap hari, untuk kawasan di atas lintang 30, dan setiap 2 hari, untuk kawasan di bawah lintang 30, termasuk Indonesia.

Selain dengan menggunakan sensor infrared, pengukuran SPL juga dapat menggunakan sensor pasif microwave. Hal ini sangat menarik mengingat keterbatasan sensor inframerah yang sangat sensitif terhadap keberadaan awan dalam memberikan informasi objek di bawahnya. Literatur pemanfaatan sensor microwave pasif untuk pengukuran SPL pun masih sulit ditemukan terutama untuk perairan Indonesia. Salah satu kajian yang pernah dilakukan di LAPAN berkaitan dengan sensor microwave adalah kajian oleh Bidawi Hasyim *et al.* tahun 2010 dengan judul Kajian Dinamika Suhu Permukaan Laut Global Menggunakan Data Penginderaan Jauh Microwave. Penelitian tersebut memanfaatkan data sensor pasif microwave Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR) pada satelit Aqua dengan lokasi penelitian di beberapa wilayah perairan Indonesia yaitu Laut Flores, Selat Makasar, Laut Jawa, dan Samudera Hindia yang merupakan lokasi tetap terjadinya fenomena upwelling pada musim tertentu. Hasil yang diperoleh cukup menarik karena dapat memberikan informasi SPL yang sangat baik tanpa adanya tutupan awan dan dapat memperlihatkan terjadinya fenomena upwelling pada lokasi penelitian.

Selain sensor AMSR pada satelit Aqua, sensor pasif microwave TRMM Microwave Imaging (TMI) yang dibawa oleh satelit Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) bisa mengukur SPL, topik ini pernah dikaji oleh Yennie Marini *et al.* tahun 2011 dalam tulisannya yang berjudul Suhu Permukaan Laut Berdasarkan Penginderaan Jauh Inframerah dan Microwave. Satelit TRMM yang diluncurkan pada tahun 1997 oleh National Aeronautics and Space Administration (NASA) dan National Space Development Agency of Japan (NASDA) membawa 5 sensor, yaitu Precipitation Radar (PR), Visible and Infrared Scanner (VIRS), Clouds and The Earth's Radiant Energy Sensor (CERES),

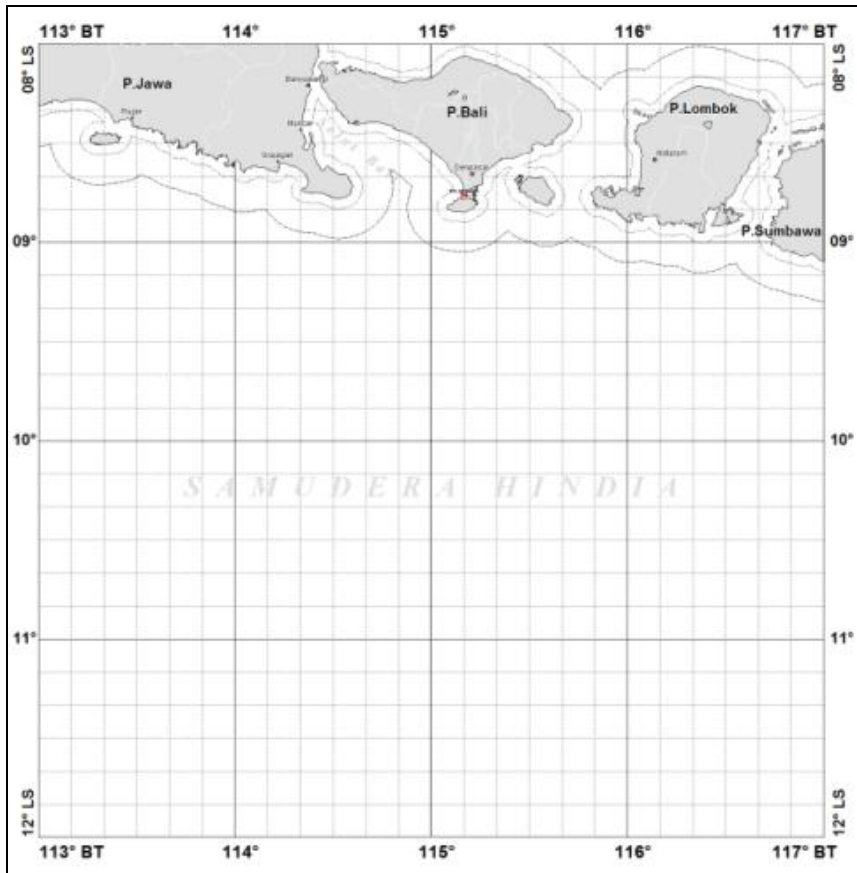
Lightning Imaging Sensor (LIS) dan TRMM Microwave Imaging (TMI). TMI adalah sensor multichannel, dual polarisasi, sensor pasif microwave yang dirancang untuk mengukur tingkat hujan pada satelit TRMM. TRMM diluncurkan dengan orbit semi-equatorial (± 35 derajat), jenis orbit ini memungkinkan untuk TMI mendapatkan sampel permukaan bumi setiap saat sepanjang hari. Selain tingkat hujan, TMI juga dapat mengukur SPL, kecepatan angin permukaan laut, uap air kolumnar, dan *cloud liquid water*. SPL dari TMI adalah SPL pertama microwave satelit yang tersedia dan terbukti menjadi faktor penting untuk peramalan intensitas siklon tropis dan penelitian (Wentz, 1999). Mohd dan Reba (2001) mengatakan bahwa perbandingan SPL dari TMI dan *in situ* mencapai sekitar $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$.

Fitur penting dari penggunaan sensor microwave adalah bahwa SPL dapat diukur melalui/menembus awan, yang hampir transparan di 10,7 GHz, saluran ini dimiliki oleh sensor TMI. Hal ini adalah keuntungan yang berbeda atas pengamatan sensor inframerah yang terkendala oleh tutupan awan sehingga menyulitkan dalam interpretasi dan analisis SPL. Dengan permasalahan tersebut dan ketersediaan data sensor microwave yang mampu melakukan identifikasi SPL tanpa terkendala oleh liputan awan maka dilakukan penelitian ini dengan tujuan untuk melihat kemampuan sensor TMI untuk menghasilkan informasi SPL dan bagaimana korelasi informasi SPL yang dihasilkan oleh sensor TMI dengan sensor MODIS, serta melihat informasi SPL hasil penggabungan dari sensor microwave dan inframerah secara umum.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan adalah data Aqua-MODIS, TMI, dan data gabungan TMI-MODIS pada bulan Juni 2011 tanggal 6, 7, dan 25. Data Aqua-MODIS diperoleh dari LAPAN Pare-Pare sedangkan data TMI diperoleh dari website Remote Sensing Systems (<http://www.remss.com/sst/>). Lokasi penelitian adalah perairan Selatan Bali

dengan batas koordinat 113–117° Bujur Timur dan 8°–12° LS, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1. Perairan Selatan Bali merupakan salah satu projek area pada kegiatan produksi informasi Zona Potensi Penangkapan Ikan (ZPPI) berdasarkan data penginderaan jauh di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN.



Gambar 2.1 Daerah penelitian selatan Bali

Pengukuran SPL menggunakan data Aqua MODIS melalui beberapa tahapan, yaitu mengonversi nilai piksel (*digital number*) menjadi nilai radiansi, selanjutnya menghitung suhu kecerahan untuk menghasilkan nilai SPL MODIS. Nilai SPL dihasilkan dengan menggunakan algoritma Brown and Minnet, 1999 dalam ATBD Mod 25, yaitu:

$$SST = c_1 + c_2 * T_{31} + c_3 * T_{3132} + c_4 * (\sec(\theta) - 1) * T_{3132}$$

di mana:

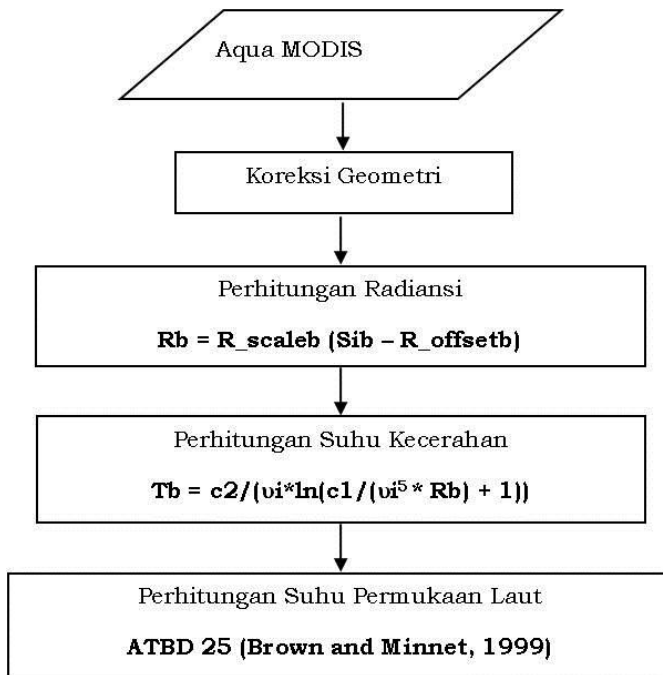
T_{31} = *brightness temperature* band 31

T_{3132} = selisih *brightness temperature* band 32 dan band 31

θ = sudut sun zenith

Diagram alir pengolahan ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Kemampuan Sensor Pasif Microwave untuk Mendeteksi Suhu Permukaan Laut



R_b : Radiansi Kanal ke-b

R_scaleb : Nilai R_scale kanal ke-b

S_{ib} : Scaled Integer kanal ke-b

$R_offsetb$: Nilai R_offset kanal ke-b

T_b : Suhu Kecerahan ($^{\circ}C$)

c_1, c_2 : konstanta radiasi

ν_i : bilangan gelombang pusat

Gambar 2.2 Diagram alir pengukuran SPL sensor Aqua-MODIS

Data TMI yang digunakan pada penelitian ini adalah data binary TMI harian dan interpolasi data microwave dengan data infrared bulan Juni yang tersedia pada <ftp.discover-earth.org/sst>. Setiap data binary harian yang tersedia dari ftp terdiri dari empat belas 0.25x0.25 derajat grid dari 1.440.320 byte peta. Produk SPL optimum interpolasi menggunakan data microwave dan infrared ini menggabungkan kemampuan menembus awan dari data microwave dengan resolusi spasial tinggi dari data infrared. Untuk data gabungan MW-IR, mempunyai ukuran tatasusunan data grid adalah 4.096x2.048 dengan resolusi grid ± 9 km.

Semua nilai baik pada data TMI saja maupun gabungan berada pada kisaran 0 dan 255. Nilai-nilai spesifik yang telah ditentukan adalah sebagai berikut: 255 = land mass, 254 = tidak ada liputan data TMI, 253 = ada liputan data TMI tetapi tidak bagus, 252 = tidak digunakan pada data set, 251 = tidak ada nilai SPL atau kecepatan angin dikarenakan hujan, atau tidak ada uap air karena hujan lebat dan 0 to 250 = valid geophysical data.

Untuk menghitung SPL dari data binary, kalikan dengan faktor skala sebagai berikut.

$(SST * 0.15) - 3.0$; menghasilkan kisaran suhu -3°C hingga 34.5°C

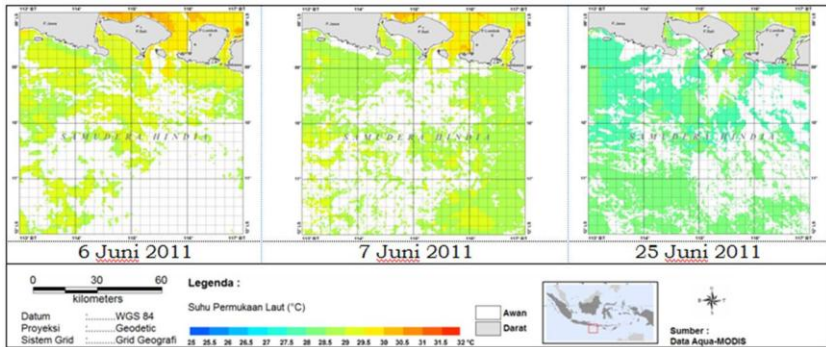
3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3.1 memperlihatkan pola sebaran SPL tanggal 6, 7, 22, dan 25 Juni 2011 dari data MODIS. SPL hasil dari sensor MODIS memiliki kendala yang signifikan dalam hal tutupan awan (ditandai dengan warna putih pada citra) sehingga sangat sulit mendapatkan gambaran SPL bila hanya berdasarkan data harian.

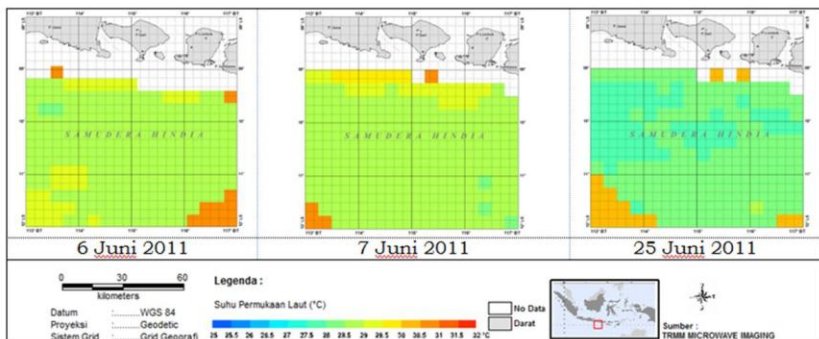
Gambar 3.2. memperlihatkan pola sebaran SPL data TMI tanggal 6, 7, dan 25 Juni 2011. Kendala tutupan awan yang terdapat pada data inframerah (MODIS) dapat diminimalisasikan dengan penggunaan data microwave (TMI). Sebaran SPL dari data TMI menunjukkan hasil yang bebas dari tutupan awan. Warna putih pada data MODIS merupakan

Kemampuan Sensor Pasif Microwave untuk Mendeteksi Suhu Permukaan Laut

daerah liputan yang tertutup awan sedangkan pada TMI warna putih mengindikasikan tidak adanya informasi SPL, data TMI tidak menghasilkan informasi SPL pada daerah dengan sunglin, hujan, dan dekat dengan pesisir (± 50 km).



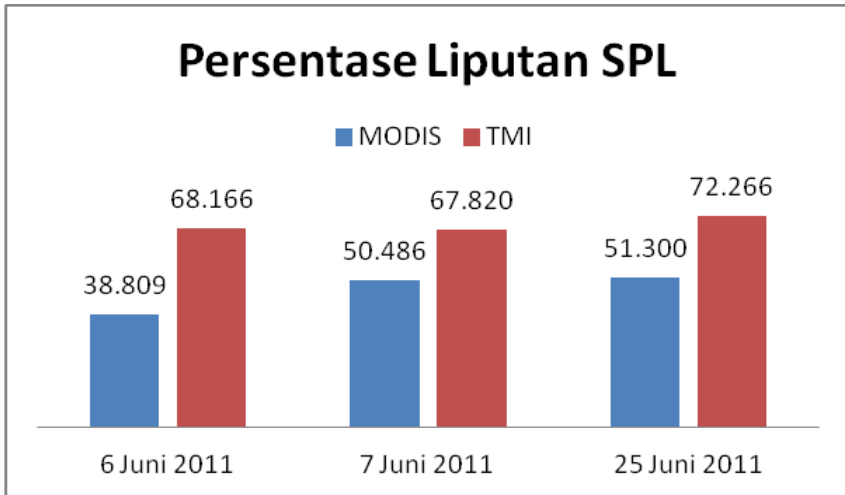
Gambar 3.1 Sebaran SPL data aqua-MODIS



Gambar 3.2 Sebaran SPL Data TRMM Microwave Imager

Gambar 3.3 memperlihatkan grafik presentase liputan SPL data harian MODIS dan TMI. Grafik pada Gambar 3.3. menunjukkan bahwa liputan SPL harian data TMI lebih konsisten menampilkan informasi distribusi SPL di daerah kajian, sedangkan SPL data MODIS fluktuatif tergantung

kondisi liputan awan seperti yang disajikan pada Gambar 3.1. Rata-rata persentase liputan SPL data harian MODIS dan TMI pada penelitian ini adalah berturut-turut $\pm 47\%$ dan 69% .



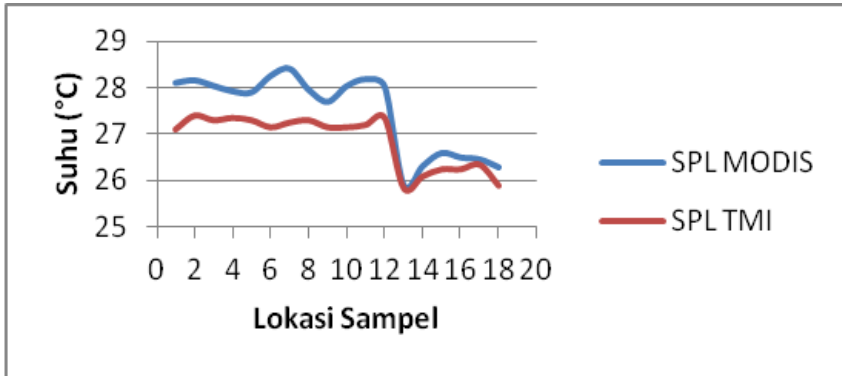
Gambar 3.3 Grafik persentase liputan SPL data SPL MODIS dan TMI

Untuk mengetahui korelasi antara SPL TMI dengan SPL MODIS dilakukan *training sample*. Sampel diambil secara acak pada lokasi yang mempunyai nilai SPL baik pada data TMI maupun data MODIS. Nilai SPL TMI dikumpulkan dari nilai 1 piksel data TMI (resolusi data TMI = $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ atau ± 27.75 Km), sedangkan nilai SPL MODIS (resolusi spasial MODIS = 1 Km) dikumpulkan dengan menghitung rata-rata beberapa piksel yang melingkupi area yang sama dengan 1 piksel data TMI. Hasil pengumpulan sampel pada 3 set data MODIS dan TMI disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.. Perbandingan nilai SPL MODIS dan SPL TMI

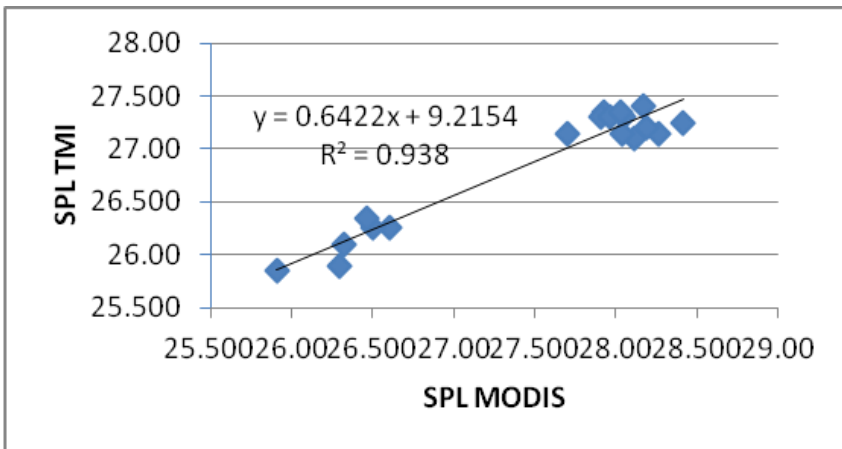
Tanggal Data	SPL MODIS (°C)	SPL TMI (°C)	Tanggal Data	SPL TMI (°C)	SPL MODIS (°C)
6 Juni 2011	28.1	27.1	7 Juni 2011	27.2	28.0
	28.2	27.4		27.2	28.2
7 Juni 2011	28.0	27.3		25 Juni 2011	27.4
	27.9	27.4	25.9		25.9
	27.9	27.3	26.1		26.3
	28.3	27.2	26.3		26.6
	28.4	27.3	26.3		26.5
	28.0	27.3	26.4		26.5
	27.7	27.2	25.9		26.3

Dari Tabel 3.1 terlihat bahwa nilai SPL TMI lebih rendah dibandingkan dengan SPL MODIS dengan rata-rata perbedaan 0.6°C, namun apabila dibuat grafik pola distribusi SPL data MODIS dan TMI, seperti yang terlihat pada Gambar 3.3, memperlihatkan pola distribusi SPL yang serupa. Kisaran SPL harian data MODIS tanggal 6, 7, dan 25 Juni 2011 berturut-turut adalah 27.16–31.64°C, 27.16–31.25°C, dan 25.06–29.90°C dengan rata-rata SPL harian adalah 28.39°C; 27.98°; dan 26.46°C sedangkan kisaran SPL untuk data TMI adalah 27.00–31.95°C, 26.85–31.65°C, dan 25.50–31.50°C dengan rata-rata SPL harian adalah 27.93°C; 27.78°; dan 26.63°C. Nilai kisaran dan rata-rata SPL ini ditetapkan berdasarkan semua nilai SPL yang terdapat pada data tersebut.



Gambar 3.4 Perbandingan SPL TMI dan SPL MODIS

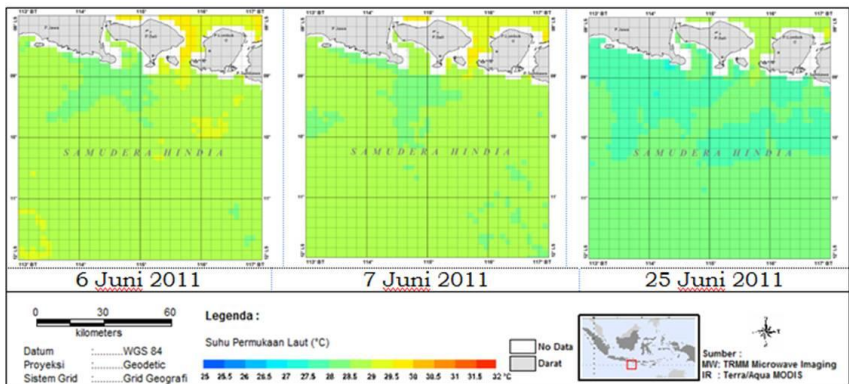
Koefisien korelasi antara SPL TMI dengan SPL MODIS adalah 0.938. Hal ini menunjukkan bahwa informasi SPL TMI cukup akurat dan mempunyai pola distribusi SPL yang serupa dengan SPL MODIS. Hasil analisis regresi antara SPL TMI dan MODIS ditampilkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Korelasi antara SPL TMI dan SPL MODIS

Kemampuan Sensor Pasif Microwave untuk Mendeteksi Suhu Permukaan Laut

Sensor Infrared memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi dan dapat mencakup wilayah pesisir, namun mempunyai masalah yang signifikan terhadap tutupan awan. Sementara data dari sensor microwave tidak dapat menghasilkan informasi SPL di dekat pesisir (± 50 km) akibat adanya kontaminasi *side-lobe*. Memadukan data microwave dan infrared memungkinkan cakupan yang lebih besar dan akurasi lebih tinggi daripada hanya menggunakan data infrared atau microwave saja. Remote Sensing System dalam situs www.remss.com selain memproduksi data SPL harian dari data TMI juga membuat SPL harian optimal interpolasi menggunakan microwave dan infrared data. Pada awalnya data microwave yang digunakan untuk SPL optimum interpolasi merupakan gabungan tiga buah sensor, yaitu TMI, AMSR, dan Windsat, namun sejak tahun 2002, data microwave yang digunakan hanya dari sensor TMI, sedangkan data infrared yang digunakan adalah data sensor MODIS dari satelit Terra dan Aqua. Gambar 3.6 menunjukkan hasil gabungan data sensor infrared dan microwave pada daerah studi.



Gambar 3.6 Sebaran SPL gabungan dari data Microwave dan Inframerah

Hasil gabungan data kedua sensor tersebut memberikan informasi SPL yang lebih baik di mana informasi SPL bebas dari tutupan awan. Kontaminasi side-lobe pada data microwave dapat diminimalisasi oleh

informasi SPL dari data infrared. Informasi SPL gabungan ini memiliki resolusi spasial 9 km, lebih rendah bila dibandingkan dengan resolusi spasial data infrared namun lebih baik dibandingkan resolusi spasial data microwave sehingga bisa memberikan gambaran SPL global secara lebih baik, serta bermanfaat untuk berbagai kegiatan ilmiah dan operasional.

4. Kesimpulan

Nilai SPL dapat diturunkan secara akurat dari data TMI. Perbandingan dengan SPL MODIS mempunyai akurasi $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$. Koefisien korelasi antara SPL data MODIS dan TMI adalah 0,938. Hal ini menunjukkan bahwa SPL TMI mempunyai pola distribusi yang serupa dengan SPL MODIS. Informasi sebaran SPL dari data inframerah terkendala oleh adanya tutupan awan, namun bisa menghasilkan informasi di daerah pesisir. SPL Data microwave memiliki kelebihan bebas dari tutupan awan, namun tidak memiliki informasi di daerah dekat pesisir (± 50 km) yang dikarenakan adanya kontaminasi *side-lobe*. Penggabungan kedua data tersebut memungkinkan untuk menghasilkan informasi sebaran SPL yang lebih baik, yaitu bebas dari tutupan awan dan mencakup seluruh perairan termasuk di daerah pesisir dengan resolusi spasial yang lebih tinggi dibandingkan hanya menggunakan data TMI saja.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Bidang Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Laut atas dukungannya dalam penyusunan Karya Tulis Ilmiah ini.

Daftar Pustaka

- Bhat, G.S., Vecchi, G.A., dan Gadgit, S. 2004. *Sea Surface Temperature of the Bay Bengal Derived from TRMM Microwave Imager*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol. 21 Agustus 2004, pp. 1283–1290.
- Brown, O.B. dan Minnet, P.J. 1999. *Modis Infrared Sea Surface Temperature Algorithm*. University of Miami. 30 April 1999. Miami.
- Ffield, A. 2005. *North Brazil Current Rings Viewed by TRMM Microwave Imager SST and the Influence of the Amazone Plume*. Deep Sea Research Part I 52: 137–160.
- Gentemann, Ch.L., Wentz, F.J., Mears, C.A., dan Smith, D.K. 2004. In Situ Validation on Tropical Rainfall Measuring Mission Microwave Sea Surface Temperatures. Journal of Geophysical Research, Vol. 109. C04021. doi. 10.1029/2003JC0020292.
- Hasyim, B., Sulma, S., dan Hartuti, H. 2010. *Kajian Dinamika Suhu Permukaan Laut Global*. Majalah sains dan Teknologi Dirgantara, Vol: 5, No. 4. Desember 2010: 130–143.
- (<http://www.remss.com/sst/>).
- Marini, Y., Mannopo, A.K.S., dan Harsanugraha, W.K. 2011. *Suhu Permukaan Laut Berdasarkan Penginderaan Jauh Inframerah dan Microwave*. Prosiding Seminar Nasional Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mendukung Pembangunan Nasional, Desember 2011: 129–134
- Medellu, Sipirang, C., dan Sutanto. 1986. *Studi pemanfaatan data digital satelit cuaca NOAA-7 untuk mendeteksi umbalan, front dan arus laut di wilayah laut Indonesia*. Tesis. Universitas Gadjah Mada.

- Mohd, I.S. dan Reba, M. 2001. *Sea Surface Temperature Retrieval Using TRMM Microwave Imager Data in South China Sea*. The 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5–9 November 2001, Singapore.
- Qu, T.D., Du, Y., Strachan, J., Meyers, G.A., dan Slingo, J.M. 2005. *Sea surface temperature and its variability in the Indonesian region*. *Oceanography*, 18(4), 50.
- Reynold, R.W., Gentemann, Ch.L., dan Wentz, F. 2004. *Impact of TRMM SSTson a Climate Scale SST Analysis*. *Journal of Climate*, Vol.17. pp. 2938–2952.
- Shahi, N.R., Agarwal, N., Marthur, A.K., dan Sarkar, A. 2011. *Atmospheric Correction for Sea Surface Temperature Retrieval from Single Thermal Channel Radiometer Data Onboard Kalpana Sattelite*. *J. Earth Syst. Sci*, 120, No. 3/2011, pp. 337–345.
- Suwargana, N. dan Arief, M. 2004. *Penentuan Suhu Permukaan Laut Dan Konsentrasi Klorofil Untuk Pengembangan Model Prediksi SST / Fishing Ground Dengan Menggunakan Data Modis*. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, Vol. 1, No. 1. Juni 2004: 1-13
- Wentz, F.J., Ashcroft, P.D., Gentemann, C.L. 2001. *Post-Launch Calibration of the TMI Microwave Radiometer*. *IEEE Trans. Geos. Rem. Sens.*, 39(2), 415–422, 2001.