

KAJIAN DINAMIKA SUHU PERMUKAAN LAUT GLOBAL MENGUNAKAN DATA PENGINDERAAN JAUH *MICROWAVE*

Bidawi Hasyim, Sayidah Sulma^{*)}, dan Maryani Hartuti^{)}**

^{*)} Peneliti Bidang Penginderaan Jauh, LAPAN

^{**)} Perakayasa Bidang Penginderaan Jauh, LAPAN

e-mail : bidawi_h@cbn.net.id dan bidawi_hs@yahoo.com

ABSTRACT

Researches of Sea Surface Temperatur (SST) in LAPAN so far have been carried out by using remote sensing data such as NOAA/AVHRR and MODIS from thermal infra red sensor. The application of thermal infra red remote sensing satellite data is often limited by cloud coverage, that makes it difficult to take the SST and conduct the upwelling observation in Indonesian Waters. Recently, the SST data from microwave sensor is available, so it can show the SST distribution periodically and is not constrained by the cloud coverage. So far, it is assumed that the low SST as one of the primary parameters of the upwelling occurs in the southern coast of Java, southern Makassar Strait, the Flores Sea around southeast Sulawesi. The analysis of SST and upwelling was carried out based on the weekly microwave SST in 2008. The result shows that based on the SST distribution, the upwelling is started from the 3rd week of May until August, with the temperature 23°C - 24°C, and reach its maximum on the 4th of July.

Key words: *SST, NOAA-AVHRR, MODIS, Microwave Sensor*

ABSTRAK

Penelitian suhu permukaan laut (SPL) di LAPAN selama ini dilakukan menggunakan data satelit penginderaan jauh NOAA/AVHRR atau MODIS dari sensor inframerah termal. Pemanfaatan data satelit penginderaan jauh sensor inframerah termal tersebut sering terkendala oleh liputan awan, sehingga sulit untuk melakukan pengamatan SPL secara menyeluruh di perairan Indonesia. Dalam beberapa waktu terakhir ini telah tersedia teknologi satelit inderaja dengan sensor *microwave* yang dapat menunjukkan sebaran SPL secara periodik dan tidak terkendala oleh liputan awan. Sejauh ini diduga terjadi SPL rendah yang merupakan salah satu indikator utama *upwelling* di pantai selatan Pulau Jawa, Selat Makassar bagian selatan dan Laut Flores di sekitar Sulawesi Tenggara. Analisis sebaran SPL dilakukan menggunakan data SPL *microwave* mingguan selama tahun 2008. Data SPL *microwave* menunjukkan bahwa, SPL yang rendah di perairan tersebut dimulai pada minggu ke-3 bulan Mei sampai dengan bulan Agustus, dengan kisaran SPL 23°C - 24°C, mencapai puncaknya pada bulan Juli minggu ke-4.

Kata kunci: *SPL, NOAA-AVHRR, MODIS, Sensor Microwave*

1 PENDAHULUAN

Salah satu parameter oseanografi yang penting adalah Suhu Permukaan Laut (SPL). Suhu lapisan permukaan di perairan Indonesia berkisar antara 26°-30°C, lapisan termoklin berkisar antara

9°C-26°C, dan lapisan dalam berkisar antara 2°C-8°C (Soegiarto, 1976). Menurut Nontji (1993) bahwa, suhu permukaan laut di perairan Indonesia umumnya berkisar antara 28°C - 31°C. Sebaran SPL dapat digunakan sebagai

salah satu indikator penting terjadinya *upwelling* yaitu kenaikan massa air laut dari suatu lapisan dalam ke lapisan permukaan sehingga SPL di perairan bersangkutan lebih dingin dibandingkan sekitarnya. Salah satu daerah yang diduga merupakan tempat terjadinya *upwelling* di perairan laut Indonesia adalah di Selat Makassar bagian selatan dan Laut Banda sekitar Sulawesi Selatan.

Tingginya nilai SPL di perairan Indonesia disebabkan oleh posisi geografi Indonesia yang terletak di wilayah ekuator yang merupakan daerah penerima panas matahari terbanyak. Berdasarkan penelitian menggunakan data MODIS Aqua dan Sea WiFS diketahui bahwa SPL, klorofil-a, dan *upwelling* masing-masing sangat dipengaruhi oleh angin monsun. Dari hasil penelitian arus lintas kepulauan Indonesia diketahui bahwa, termoklin di Samudera Hindia dengan suhu dingin dan salinitas rendah bergerak memotong arus lintas kepulauan Indonesia dekat 12° LS (Gordon, 2005).

Pada bulan Agustus, ketika angin monsun tenggara bertiup dominan, area yang luas sebelah selatan lebih dingin 5°C, dengan suhu minimum pada daerah *upwelling* sebelah selatan Pulau Jawa dan di atas paparan Arafura. Air yang dingin digerakkan ke Laut Jawa bagian timur. Di Selat Makassar, ketika parameter koreolis berakhir dan hilang maka air permukaan mengalir ke arah utara searah dengan pergerakan angin. Dampak dari aliran air permukaan diperkecil oleh perluasan aliran air bagian permukaan dari Samudera Pasifik, maka SPL di Selat Makassar selama musim bersangkutan lebih tinggi dari 29° C. Angin monsun sebaliknya menggerakkan massa air yang relatif dingin dan salinitas rendah dari Laut China Selatan ke lapisan permukaan Laut Jawa bagian selatan. SPL terendah

dari perairan laut Indonesia terdapat di Laut Jawa bagian barat, yaitu ketika terjadi perluasan radiasi panas permukaan sehingga SPL lebih tinggi dari 29° C (Qu et al., 2005).

Qu et al., 2005 selanjutnya menyatakan bahwa, perairan di bagian timur Laut Jawa merupakan daerah peralihan yang dipengaruhi oleh kondisi oseanografi Selat Makassar dan Laut Flores dengan kondisi yang bervariasi berkaitan dengan perubahan musiman. Hasil penelitian pada stasiun sisi selatan Selat Makassar dalam periode 1992 – 1994 menunjukkan bahwa SPL maksimum mencapai 30°C selama angin dari barat laut atau musim basah pada bulan Desember 1993, kemudian menurun hingga 26°C pada Februari 1994. Suhu minimum dengan nilai 28°C terjadi selama akhir musim angin tenggara atau musim kering pada bulan September 1993.

Permasalahan yang dihadapi dalam pengamatan SST di wilayah perairan laut Indonesia, antara lain disebabkan karena perairan laut yang sangat luas, kondisi perairan laut yang sangat dinamis berubah secara spasial dan temporal, memerlukan sangat banyak stasiun pengamatan yang dapat meliputi seluruh perairan laut Indonesia termasuk ZEE, memerlukan biaya yang relatif mahal dan upaya yang berat serta melibatkan banyak personel dan tenaga ahli. Pemanfaatan data SPL yang dihasilkan oleh sensor infra merah termal satelit penginderaan jauh (Inderaja) NOAA-AVHRR dan MODIS terkendala oleh liputan awan yang cukup tinggi, sehingga menyulitkan dalam pemantauan SPL dan identifikasi *upwelling* di perairan laut Indonesia.

Dengan memperhatikan permasalahan tersebut di atas dan ketersediaan teknologi penginderaan jauh dengan sensor *microwave* yang

mampu melakukan identifikasi SPL yang tidak terpengaruh oleh tutupan awan, dilakukan penelitian dengan tujuan melakukan identifikasi perubahan sebaran SPL yang dihasilkan dari sensor *microwave*. Perairan laut yang menjadi fokus penelitian adalah perairan Laut Jawa, Selat Makassar bagian selatan, Laut Flores, Laut Banda, Laut Arafuru, Samudera Hindia sebelah selatan Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, serta sebelah selatan Pulau Jawa dan selatan Lampung.

2 METODOLOGI

2.1 Bahan, Waktu dan Lokasi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data SPL mingguan dari *Advanced Microwave Scanning Radiometer* (AMSR) satelit TRMM dan *infrared* yang di *download* dari web *www.remss.com* untuk kawasan belahan bumi sebelah selatan. Dalam penelitian ini digunakan data SPL *microwave* harian yang dipilih setiap minggu mulai bulan Januari sampai dengan Desember 2008. Daerah penelitian meliputi Laut Indonesia belahan selatan katulistiwa dititik beratkan pada wilayah perairan Laut Flores, Selat Makassar bagian selatan, Laut Jawa, dan Samudera Hindia sebelah selatan Pulau Jawa. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang fenomena *upwelling* pada daerah penelitian, dilakukan *cropping* data SPL dalam selang koordinat 100° BT-140° BT dan 0°- 5° LS.

2.2 Metode

Teknik perolehan SPL dengan sensor *microwave* sangat kompleks, banyak tahapan proses yang harus dilakukan. Karena itu, dalam makalah ini hanya disampaikan bagian pokok saja yang secara langsung pada metode perolehan data berdasarkan metode

yang dikembangkan/dijelaskan oleh Wentz dan Meissner (2000) menyatakan bahwa, SPL *microwave* dari sensor AMSR dirancang untuk mengukur radiasi bumi pada daerah spektral 7 – 90 GHz. Frekuensi, polarisasi dan pemilihan sudut kemiringan sensor AMSR tidak sama sebagaimana sensor radiometer pada satelit sebelumnya, seperti satelit SeaSat, Nimbus-7, SSM, dan TRMM. Sensor AMSR memungkinkan mendapatkan 4 parameter geofisik penting yaitu: (1) suhu permukaan laut (T_s) dengan ketelitian rms 0,5° K; (2) kecepatan angin dekat permukaan (W) dengan ketelitian 1,0 m/detik; (3) kandungan uap air vertikal (V) dengan ketelitian 1,0 mm; (4) dan kandungan uap air dalam awan secara vertikal (L) dengan ketelitian 0,02 mm. Hasil uji coba menunjukkan bahwa perbandingan suhu permukaan laut (T_s) hasil pengukuran dengan *TRMM microwave imager (TMI)* dibandingkan hasil pengukuran dengan *buoy* menunjukkan ketelitian rms antara 0,5°C – 0,7°C. Pengamatan menggunakan sensor AMSR mempunyai dua tujuan yaitu, pertama mengembangkan algoritma untuk mendapatkan nilai T_s , W , V dan L dengan ketelitian seperti tersebut di atas, dan untuk mengembangkan radiative transfer model (RTM) untuk permukaan laut dan atmosfer. Dengan menggunakan teori transfer radiasi AMSR menunjukkan hubungan yang sangat erat antara temperatur keterangan Bumi T_B (°K) yang dengan parameter geofisik T_s , W , V , dan L .

Untuk mendapatkan SPL dengan ketelitian 0,5°C diperlukan persyaratan sebagai berikut: (1) *Radiometer noise* pada kanal 6.9V adalah sekitar 0.1 K; (2) *Incidence angle* untuk akurasi 0.05° diketahui; (3) *Radio Frequency Interference* (RFI) lebih kecil dari 0.1 K; dan (4) Algoritma yang diperoleh mampu

memisahkan pengaruh angin dari suhu permukaan laut. Teknik pengamatan dengan sensor *microwave* sangat berbeda dengan kanal Infra merah (IR). Pada pengamatan dengan sensor *microwave*, pengaruh atmosfer pada 6,9 GHz sangat kecil dan mudah dihilangkan dengan menggunakan kanal frekuensi yang lebih tinggi. Pengaruh hujan dapat dideteksi dengan mudah dan dihilangkan pengaruhnya, sehingga kondisi atmosfer tidak menjadi masalah dalam perolehan suhu permukaan laut.

Sensor *microwave* menghasilkan empat data utama yaitu: (1) Suhu permukaan laut dengan resolusi 58 km; (2) Kecepatan angin dengan resolusi 38 km; (3) Kandungan uap air dengan resolusi 24 km; dan (4) Kandungan air dalam awan dengan resolusi 13 km. Di samping itu dihasilkan pula dua data sebagai produk khusus yaitu: (1) Suhu permukaan laut dengan resolusi 38 km; dan (2) Kecepatan angin dengan resolusi 24 km. Semua produk tersebut mempunyai resolusi 10 km dengan *geometric level 2A*. T_s dan W yang diperoleh pada resolusi 20 km di-*resampling* menjadi 10 km.

Tahap pertama dari pengolahan data adalah menghitung suhu permukaan laut T_s . Jika pengolahan dilakukan menggunakan algoritma regresi linier, perolehan suhu permukaan laut T_s termasuk sebagai tambahan dalam regresi untuk W . Secara khusus, data suhu permukaan laut (SPL) yang dalam rumus ini ditulis dengan T_s diperoleh dengan regresi non-linier dan algoritma iterasi, dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_s = \hat{T}_s + \varepsilon_{T_s} \quad (2-1)$$

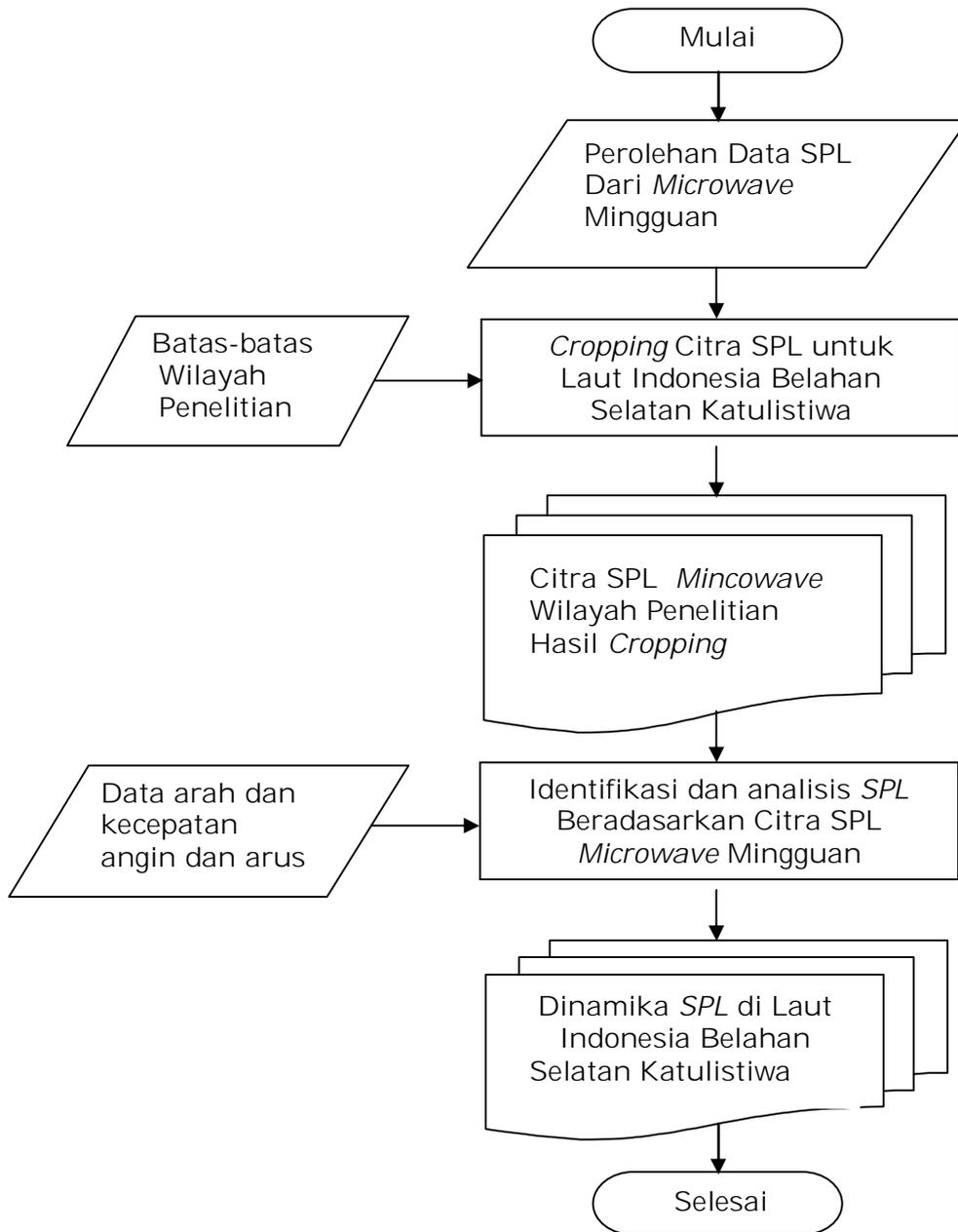
dimana:

T_s = suhu permukaan laut pada resolusi yang lebih tinggi,

\hat{T}_s = dihitung untuk resolusi T_s yang lebih rendah, dan

ε_{T_s} = adalah rms error berdasarkan dugaan

Tahapan proses yang dilakukan adalah sebagai berikut: (1) Perolehan data SPL dari *microwave* dan *infrared time series*. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari web www.remss.com berupa data harian yang mewakili kondisi setiap minggu untuk wilayah perairan Laut Indonesia belahan selatan katulistiwa. Perolehan data meliputi SPL *microwave* dari sensor AMSR-E dan TMI serta *infrared* dari sensor MODIS, yang lebih akurat karena SPL dari *infrared* memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi sedangkan dengan *microwave* dapat diperoleh informasi SPL baik dalam kondisi tertutup awan; (2) *Cropping* citra SPL *Microwave* sesuai dengan wilayah penelitian; (3) Identifikasi dan analisis *upwelling* pada daerah penelitian berdasarkan citra sebaran SPL *microwave* dan *infrared* mingguan, didukung dengan data tentang arah dan kecepatan angin serta arus pada daerah penelitian; (4) Analisis dinamika *upwelling* di Laut Flores bagian timur dan Selat Makassar bagian selatan berdasarkan SPL *microwave* harian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini selengkapnya dapat dinyatakan dengan diagram alir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1: Diagram alir penelitian identifikasi dinamika perubahan SPL di perairan Indonesia belahan selatan katulistiwa menggunakan data SPL *microwave*

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

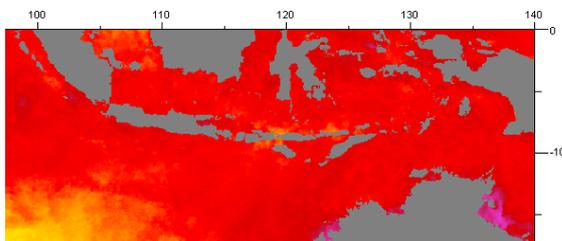
Sebaran SPL di perairan Laut Flores, Selat Makassar dan sebelah selatan Pulau Jawa pada bulan Januari 2008 relatif homogen pada kisaran 28°C - 31°C . Perairan dengan SPL sekitar 24°C - 26°C nampak di Samudera Hindia sebelah selatan Jawa Barat, dan hanya sedikit di perairan sebelah utara Pulau Flores (Gambar 3-1). Kondisi sebaran SPL ini menandakan bahwa

tidak terjadi upwelling di perairan Selat Makassar, Laut Flores, dan sebelah selatan Pulau Jawa. Memperhatikan sebaran SPL pada bulan Februari 2008 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-2, dapat diketahui bahwa terjadi pergerakan massa air ke arah utara. Hal ini ditunjukkan dengan sebaran massa air dengan SPL sekitar 24°C - 26°C di Samudera Hindia dan perairan sekitar Pulau Flores bergeser lebih ke utara

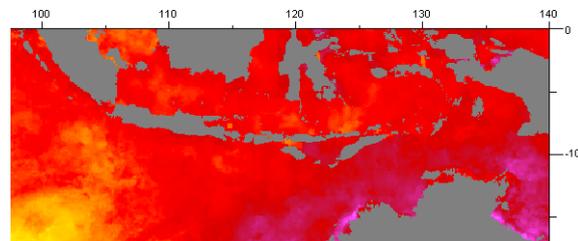
dibandingkan sebelumnya. Kondisi ini sejalan dengan arah arus yang diperoleh dari data Topex Poseidon pada minggu pertama, bahwa arus umumnya mengalir dari selatan ke utara, dan kadang-kadang dari arah barat laut. Selama bulan Januari, angin yang dominan pada daerah penelitian datang dari arah barat dan utara, sedangkan pada bulan Februari didominasi oleh angin yang bertiup dari arah barat, utara dan barat laut.

Sebaran SPL pada minggu pertama bulan Maret 2008 mengalami perubahan dibandingkan bulan sebelumnya. Gambar 3-3 menunjukkan bahwa massa air dengan SPL sekitar 24°C- 26°C di Samudera Hindia sebelah selatan Jawa Barat bergerak semakin ke utara dan menyebar sampai sebelah selatan Lampung, sedangkan yang di sebelah utara Pulau Flores mengalami pengurangan. Sebaliknya massa air dengan SPL 24°C - 26°C muncul di Laut Jawa sebelah utara Jawa Timur dan

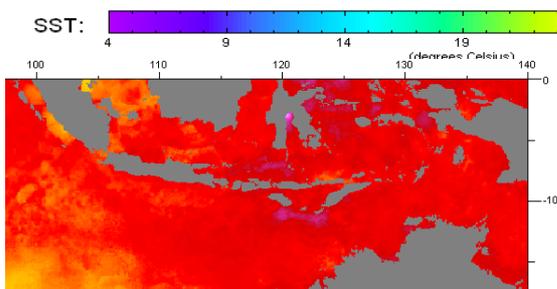
sebelah selatan Kalimantan. Sebaran SPL pada minggu pertama bulan April menggambarkan terjadinya perubahan yang signifikan, massa air dengan suhu 24°C - 26°C bergeser lebih ke selatan dibandingkan sebelumnya (Gambar 3-4). Kondisi ini mungkin disebabkan oleh adanya perubahan arah arus air yang bergerak dari utara ke selatan, sebagai salah satu indikator dari musim peralihan. Kondisi angin pada bulan Maret di lokasi penelitian masih serupa dengan bulan Februari, yaitu didominasi oleh angin yang datang dari arah utara, kadang-kadang juga dari arah barat dan barat laut, dengan kecepatan dapat mencapai 17 knot. Sedangkan pada bulan April yang merupakan bulan kedua dari musim peralihan pertama, angin dominan datang dari arah yang berubah-ubah, dan yang paling rendah frekuensi serta kecepataannya datang dari arah barat daya dan timur laut.



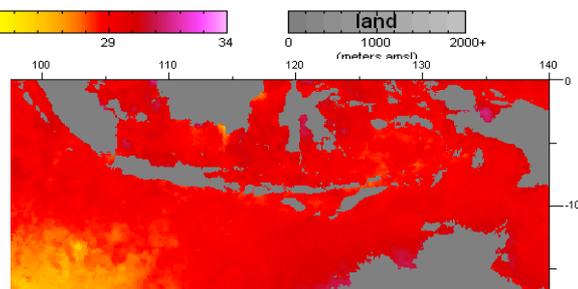
Gambar 3-1: Sebaran SPL pada bulan Januari 2008 minggu pertama



Gambar 3-2: Sebaran SPL pada bulan Februari 2008 minggu pertama



Gambar 3-3: Sebaran SPL pada bulan Maret 2008 minggu pertama



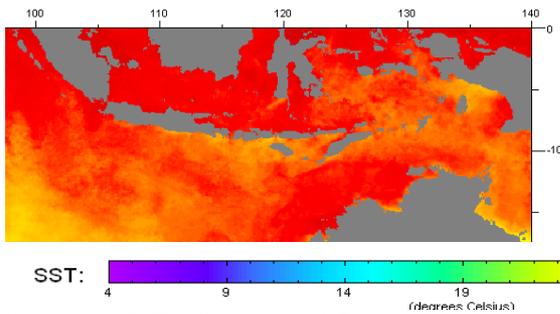
Gambar 3-4: Sebaran SPL pada bulan April 2008 minggu pertama

Sebaran SPL pada bulan Mei yang diwakili oleh SPL minggu ketiga (Gambar 3-5) berbeda dengan bulan sebelumnya (Gambar 3-4). Sebaran SPL sekitar 24°C– 27°C yang sebelumnya terkonsentrasi di perairan Samudera Hindia sebelah selatan Jawa Barat dan Lampung, mengalami pergeseran ke arah timur laut sampai di sebelah selatan Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, dan Nusa Tenggara Timur. Massa air yang lebih dingin dari sekitarnya (24°C- 27°C) datang dari sebelah timur Australia dan bergerak ke sebelah selatan Papua, sebagian terus ke arah barat sampai sisi timur dari Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Tengah. Massa air dengan suhu sekitar 26°C juga muncul di perairan Sulawesi Selatan, sementara perairan Laut Jawa didominasi oleh massa air dengan SPL sekitar 28°C- 31°C.

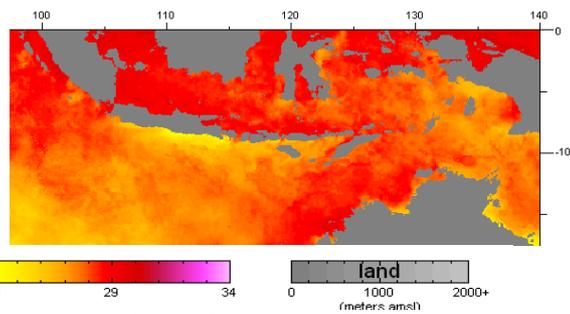
Pada akhir bulan Mei, terjadi pergerakan massa air dari selatan dan tenggara yang semakin kuat. Hal ini ditunjukkan oleh sebaran massa air dengan SPL pada kisaran 24°C-26°C semakin merata di perairan Samudera Hindia sebelah selatan Pulau Jawa (Gambar 3-6). Dari gambar tersebut juga nampak semakin menguatnya aliran massa air dengan suhu 24°C- 26°C dari sebelah timur Australia ke Laut Arafura Papua dan Laut Banda. Kondisi ini juga semakin memperluas sebaran SPL dengan suhu yang sama di perairan sekitar Sulawesi Tenggara. Massa air yang lebih dingin dari sekitarnya (24°C-26°C) juga terjadi di perairan Selat Makassar bagian selatan, meskipun belum terlalu luas. Di beberapa lokasi bagian timur dari Laut Jawa sudah nampak adanya massa air dengan SPL sekitar 24°C-26°C. Pergerakan massa air ini berkorelasi dengan angin dominan selama bulan Mei, datang dari

arah timur dan tenggara meskipun kecepatannya belum begitu tinggi yaitu rata-rata 1 – 3 knot.

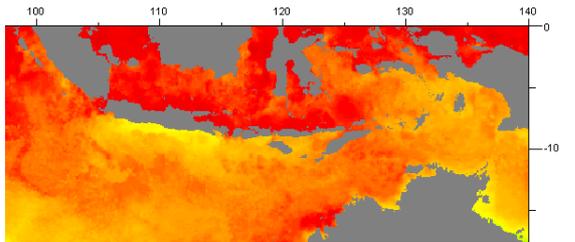
Pada minggu pertama bulan Juni yang merupakan awal musim timur, nampak semakin menguatnya pergerakan massa air dari arah selatan dan tenggara (Gambar 3-7). Massa air dengan SPL sekitar 24°C-26°C di Samudera Hindia sebelah selatan Pulau Jawa semakin luas, bahkan massa air dengan SPL sekitar 24°C nampak semakin terkonsentrasi di perairan sampai ke pantai selatan Pulau Jawa. Demikian juga massa air dengan suhu sekitar 24°C yang datang dari sebelah timur Australia semakin luas di Laut Arafura dan Laut Banda sampai Laut Flores. Suhu dengan SPL dalam kisaran 25°C-26°C juga nampak tersebar di perairan antara Selat Makassar dan Laut Jawa, juga pada beberapa bagian di sebelah selatan Kalimantan. Gambar 3-8, 3-9, 3-10 (bulan Juni minggu kedua, ketiga dan keempat) menunjukkan adanya dorongan yang semakin kuat dari arah timur dan tenggara sehingga terjadi pergeseran massa air dengan SPL dalam kisaran 24°C-26°C ke arah barat dan barat laut. Massa air dengan SPL yang lebih dingin dari sekitarnya tersebut semakin mendominasi perairan sebelah selatan Pulau Jawa sampai selatan Lampung. Massa air dengan kisaran SPL yang sama juga mendominasi perairan Laut Arafura, Laut Banda, dan Laut Flores. Massa air dengan SPL yang sama juga semakin luas terjadi di perairan Laut Jawa bagian timur antara Jawa Timur dan Kalimantan Selatan. Pergerakan massa air tersebut berkorelasi dengan arah dan kecepatan angin pada bulan Juni, yang dominan datang dari arah timur, tenggara dan selatan, dengan kecepatan di atas 17 knot.



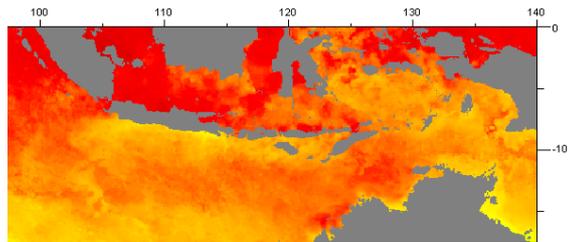
Gambar 3-5 : Sebaran SPL pada bulan Mei 2008 minggu ketiga



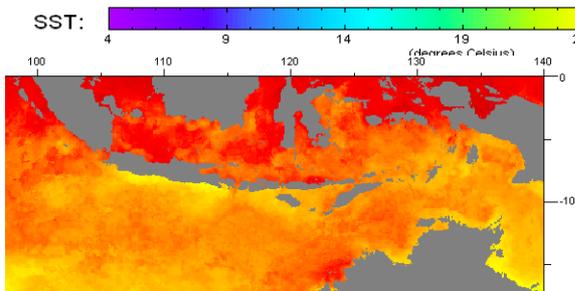
Gambar 3-6 : Sebaran SPL pada bulan Mei 2008 minggu keempat



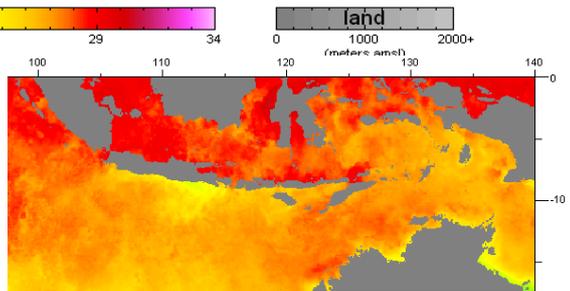
Gambar 3-7: Sebaran SPL pada bulan Juni 2008 minggu pertama



Gambar 3-8: Sebaran SPL pada bulan Juni 2008 minggu kedua



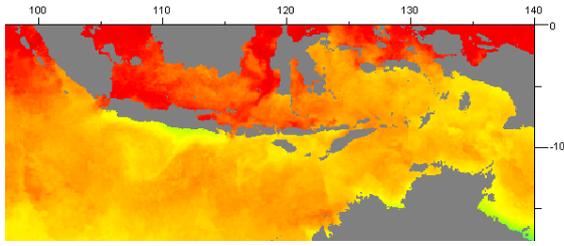
Gambar 3-9: Sebaran SPL pada bulan Juni 2008 minggu ketiga



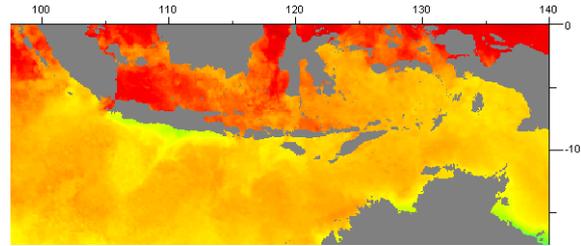
Gambar 3-10: Sebaran SPL pada bulan Juni 2008 minggu keempat

Citra sebaran SPL pada bulan Juli menunjukkan indikator dampak semakin kuatnya pengaruh angin dari arah timur dan tenggara. Perairan Samudera Hindia mulai sebelah barat Australia dan sebelah selatan Pulau Jawa sampai sebelah selatan Lampung didominasi oleh massa air dengan SPL dalam kisaran 23°C-26°C. Bahkan pada minggu kedua sampai keempat, nampak adanya massa air dengan kisaran SPL 21°C-22°C pada perairan sebelah selatan Pulau Jawa. Demikian juga dengan perairan antara Australia dengan Nusa Tenggara Timur dan Papua, Laut Banda dan Laut Flores didominasi oleh massa air dengan SPL 23°C-26°C. Massa air dengan SPL yang sama di Laut Jawa juga mengalami perluasan ke arah barat

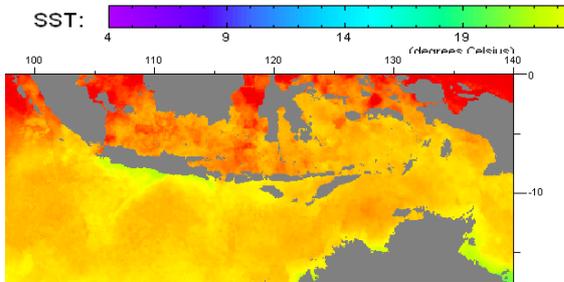
sampai sebelah utara perbatasan Jawa Barat dan Jawa Tengah. Berdasarkan citra SPL (Gambar 3-11 s.d 3-14) bahwa sebaran massa air dengan SPL 21°C-26°C yang paling luas terjadi pada bulan Juli minggu ketiga dan keempat. Massa air dengan SPL 24°C-26°C juga terjadi di perairan sebelah barat Kalimantan Barat dan kadang-kadang sampai perairan sekitar Bangka Belitung. Penyebaran massa air yang lebih dengan SPL 24°C-26°C tersebut, berkaitan dengan dominasi angin dari timur, selatan dan tenggara yang semakin kuat, sehingga mendorong pergerakan massa air dari arah timur, tenggara dan selatan lebih kuat lagi dibandingkan bulan Juni.



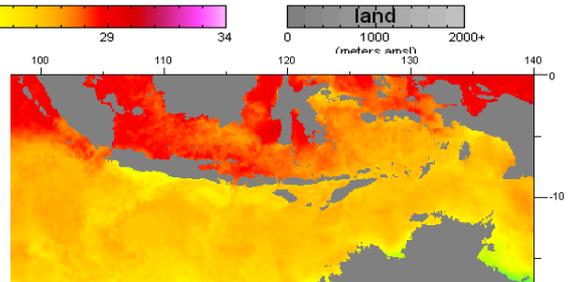
Gambar 3-11: Sebaran SPL pada bulan Juli 2008 minggu kedua



Gambar 3-12: Sebaran SPL pada bulan Juli 2008 minggu ketiga



Gambar 3-13: Sebaran SPL pada bulan Juli 2008 minggu keempat



Gambar 3-14: Sebaran SPL pada bulan Juli 2008 minggu kelima

Pada bulan Agustus yang merupakan bulan terakhir musim timur, sebaran SPL sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-15, 3-16, 3-17 dan 3-18 tidak banyak mengalami perubahan dibandingkan bulan Juli. Perairan Samudera Hindia mulai sebelah barat Australia, selatan Pulau Jawa sampai selatan Lampung didominasi oleh suhu dalam kisaran 23°C - 26°C . Masa air dengan SPL sekitar 23°C nampak dominan di perairan dekat pantai selatan Laut Jawa sampai selatan Pulau Bali dan Pulau Flores, dapat diduga terjadi *coastal upwelling* pada perairan tersebut. Demikian juga dengan perairan laut mulai Samudera Hindia sebelah utara Australia sampai selatan dan timur Nusa Tenggara Timur serta sebelah selatan Papua juga didominasi oleh SPL dalam kisaran 23°C - 26°C . Massa air di perairan Laut Flores dan Laut Jawa pada umumnya berada pada kisaran SPL 25°C - 27°C . Tekanan angin dari arah timur nampak pada sebaran massa air dengan SPL lebih rendah dari sekitarnya tersebar

sampai perairan laut antara Jawa Barat dan Kalimantan Barat, bahkan di perairan antara Kalimantan Barat dan Bangka Belitung. Pergerakan massa air pada bulan Agustus tersebut erat kaitannya dengan angin yang sangat didominasi oleh yang datang dari arah timur, tenggara dan selatan dengan kecepatan di atas 17 knot.

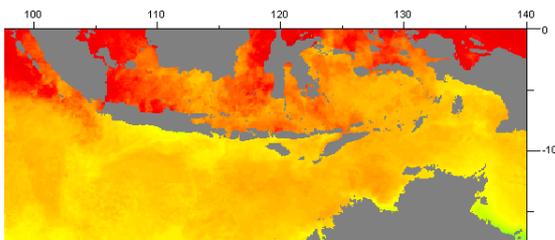
Sebaran SPL pada minggu pertama bulan September yang merupakan awal musim peralihan kedua, relatif sama dengan sebaran SPL pada bulan Agustus (Gambar 3-19). Pada minggu kedua bulan September, terjadi penurunan sebaran SPL dengan kirsan 24°C - 27°C terutama di Laut Jawa bagian barat dan selatan, juga di perairan antara Australia dan Nusa Tenggara Timur (Gambar 3-20). Dominasi massa air dengan SPL 23°C - 24°C di perairan antara Australia dengan Nusa Tenggara Timur, Laut Banda dan Laut Flores sudah mulai berkurang dan didominasi oleh suhu dengan kisaran 25°C - 27°C . Demikian juga SPL di Selat Makassar bagian

selatan dan di Laut Jawa sudah mulai mengalami peningkatan, didominasi oleh SPL dengan kisaran 27°C-28°C. Hal ini berkaitan dengan berakhirnya musim timur memasuki musim peralihan kedua, diikuti dengan menurunnya kecepatan angin dari arah timur, tenggara dan selatan yang membawa massa air yang lebih dingin.

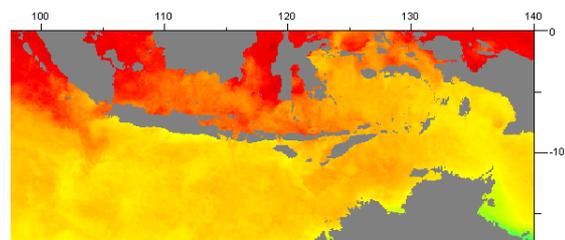
SPL di daerah penelitian pada minggu ketiga bulan September kembali mengalami peningkatan, khususnya di Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Flores dan perairan antara Australia dengan Nusa Tenggara Timur. Perairan yang masih didominasi oleh SPL dengan kisaran 23°C-26°C terdapat di Samudera Hindia sebelah selatan Pulau Jawa dan Laut Arafuru. Laut Banda dan Laut Flores sudah didominasi oleh SPL pada kisaran 26°C-28°C, sedangkan perairan lainnya berada pada SPL dalam kisaran 28°C-30°C (Gambar 3-21).

Pada minggu kelima bulan September (Gambar 3-22) menunjukkan terjadinya peningkatan SPL dibanding-

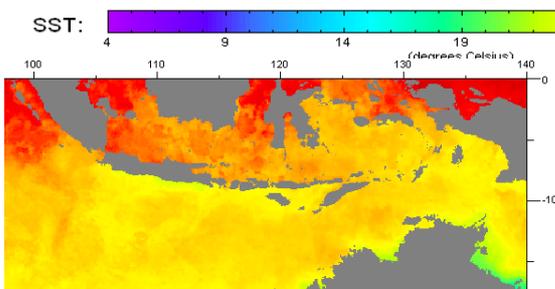
kan minggu sebelumnya. Sebaran massa air dengan SPL dalam kisaran 27°C-30°C semakin luas, terutama di Samudera Hindia antara Australia dengan Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat, Laut Arafuru, Laut Jawa dan Laut Flores. SPL terendah di Laut Banda berada dalam kisaran 27°C-28°C, sedangkan Laut Jawa dan Laut Flores didominasi oleh SPL dalam kisaran 28°C-30°C. Kondisi ini menunjukkan bahwa pergerakan massa air dari selatan dan tenggara yang membawa massa air dengan suhu yang rendah sudah semakin berkurang, berkorelasi dengan berakhirnya musim timur dan memasuki bulan pertama musim peralihan kedua. Pada bulan September yang merupakan bulan pertama dari musim peralihan kedua, angin masih didominasi oleh yang datang dari arah timur, selatan dan tenggara, namun kecepatannya sudah berkurang dibandingkan dengan bulan sebelumnya (Agustus).



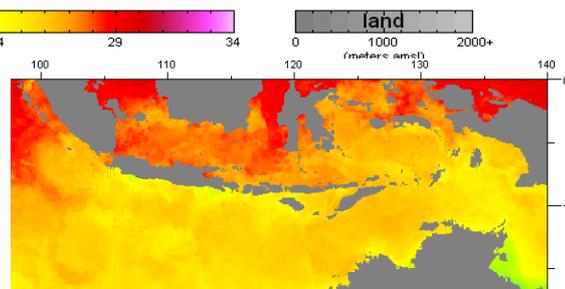
Gambar 3-15: Sebaran SPL pada bulan Agustus 2008 minggu pertama



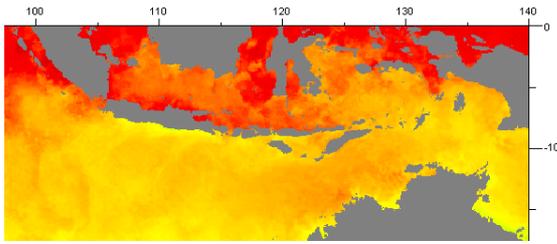
Gambar 3-16: Sebaran SPL pada bulan Agustus 2008 minggu kedua



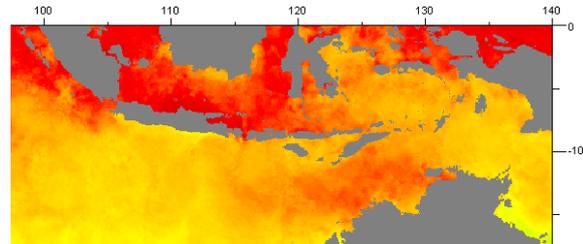
Gambar 3-17: Sebaran SPL pada bulan Agustus 2008 minggu ketiga



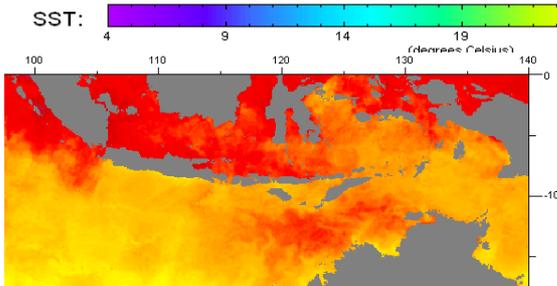
Gambar 3-18: Sebaran SPL pada bulan Agustus 2008 minggu keempat



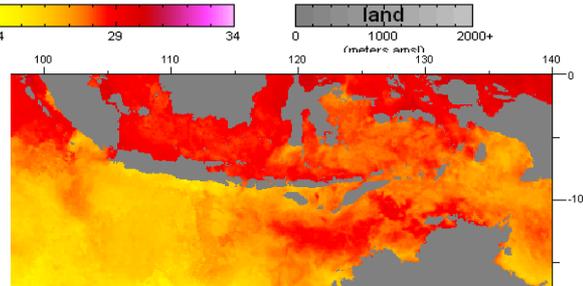
Gambar 3-19: Sebaran SPL pada bulan September 2008 minggu pertama



Gambar 3-20: Sebaran SPL pada bulan September 2008 minggu kedua



Gambar 3-21: Sebaran SPL pada bulan September 2008 minggu ketiga



Gambar 3-22: Sebaran SPL pada bulan September 2008 minggu kelima

Sebaran SPL di daerah penelitian pada minggu pertama bulan Oktober yang merupakan bulan kedua musim peralihan kedua, sebaran massa air yang memiliki SPL rendah yaitu dalam kisaran 23°C - 26°C semakin berkurang. Sebaliknya terjadi peningkatan sebaran massa air dengan SPL 28°C - 30°C , terutama di perairan laut antara Australia dengan Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur, Laut Jawa, Selat Makassar, dan Laut Flores. Laut Banda masih didominasi oleh massa air dengan SPL 27°C - 30°C (Gambar 3-23). Sebaran SPL pada minggu keempat pada bulan Oktober menunjukkan peningkatan dibandingkan sebelumnya (Gambar 3-24). Perairan yang mempunyai SPL dalam kisaran 24°C - 27°C hanya terdapat di Samudera Hindia sebelah selatan Jawa Barat dan Jawa Tengah, dan sedikit di Laut Arafura. Laut Jawa, Laut Flores, Laut Banda dan Samudera Hindia antara Australia dengan Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur didominasi oleh SPL 28°C - 30°C . Pada bulan Oktober yang merupakan bulan kedua

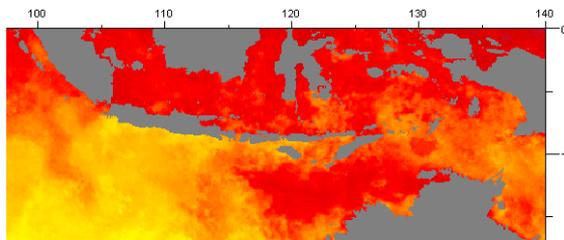
musim peralihan kedua, angin masih dominan dari arah timur, tenggara dan selatan, namun sudah mulai muncul pengaruh angin yang datang dari arah barat dan barat daya yang semakin kuat. Kondisi angin ini berkorelasi dengan menurunnya gerakan massa air dari arah selatan yang suhunya lebih dingin dibandingkan SPL massa air di sekitarnya.

Memperhatikan citra SPL pada bulan November minggu pertama (Gambar 3-25), nampak bahwa massa air dengan kisaran SPL 24°C - 27°C di perairan Samudera Hindia sebelah selatan Pulau Jawa bergeser lebih ke selatan dibandingkan bulan sebelumnya. Kondisi ini berkaitan erat dengan arah angin dominan yang bertiup dari arah barat dan kadang-kadang dari arah utara, mendorong massa air bergerak ke arah selatan. Massa air dengan SPL 24°C - 27°C yang berada di perairan Laut Arafuru menjadi semakin sedikit. Selain pada perairan Samudera Hindia sebelah selatan Pulau Jawa dan Lampung serta perairan Arafura, perairan didominasi oleh SPL 28°C - 23°C . Sebaran SPL pada

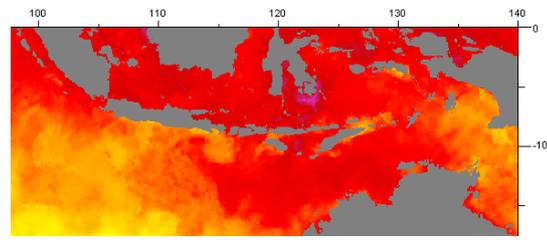
bulan Desember seperti pada Gambar 3-26 menunjukkan bahwa massa air dengan SPL 24°C-27°C di perairan Samudera Hindia, bergeser semakin ke selatan dari sebelumnya. Perairan laut Indonesia termasuk Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) di selatan Pulau Jawa dan Lampung didominasi oleh SPL dalam kisaran 28°C-30°C. Demikian juga perairan Laut Arafura, yang semula terdapat beberapa lokasi dengan SPL dalam kisaran 24°C-27°C mengalami kenaikan menjadi 28°C-30°C. Perairan Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Flores dan Laut Banda berada pada SPL yang tinggi yaitu dalam kisaran 29°C-31°C. Angin yang paling dominan datang dari arah barat, walaupun masih kadang-kadang datang dari arah barat laut dan dari timur dengan frekuensi dan kecepatan yang lebih rendah dibandingkan yang datang dari arah barat. Kondisi ini berkorelasi dengan semakin menurunnya luas massa air yang lebih dingin (sekitar 24°C) pada semua perairan di wilayah penelitian.

Dari bahasan di atas dapat diduga bahwa SPL rendah yang

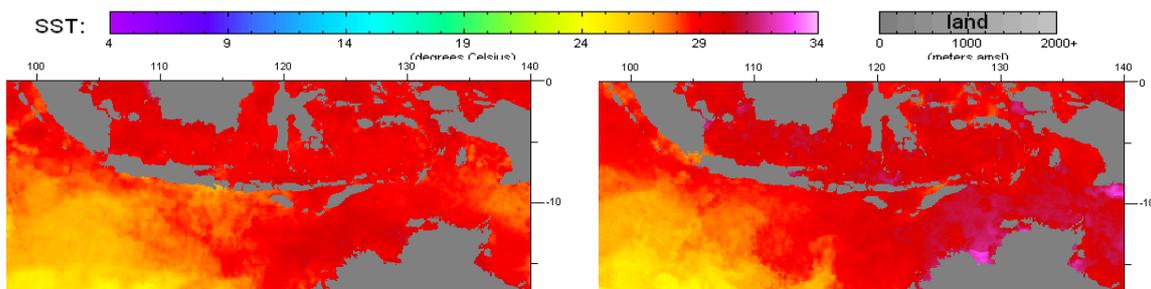
merupakan indikator terjadinya *upwelling* di perairan laut Indonesia belahan selatan khatulistiwa dimulai pada minggu ke tiga bulan Mei, mencapai puncaknya pada bulan Agustus dan berakhir pada bulan Oktober. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wyrтки (1961) dan Nontji (1993) bahwa *upwelling* terjadi pada bulan Mei - November, dipengaruhi oleh angin musim dari tenggara, mencapai puncaknya pada bulan Juni-Agustus dan disebut sebagai musim timur karena angin bertiup dari timur ke barat. Sedangkan pada bulan Desember-April, perairan dipengaruhi oleh angin musim dari Barat Laut, mencapai puncaknya pada bulan Desember-Februari dan disebut sebagai musim barat karena angin bertiup dari barat ke timur. Bulan Maret - Mei dan September-November disebut sebagai musim peralihan, pada musim ini angin bertiup tidak menentu. Pada setiap awal periode musim ini, pengaruh angin musim sebelumnya masih kuat.



Gambar 3-23: Sebaran SPL pada bulan Oktober 2008 minggu pertama



Gambar 3-24: Sebaran SPL pada bulan Oktober 2008 minggu keempat



Gambar 3-25: Sebaran SPL pada bulan November 2008 minggu pertama

Gambar 3-26: Sebaran SPL pada bulan Desember 2008 minggu pertama

Berdasarkan citra SST *microwave* dan bahasan di atas, bahwa SPL rendah yang diduga *upwelling* di Selat Makassar terjadi mulai bulan Juni sampai dengan September. Hal ini juga sesuai dengan yang dinyatakan oleh Nontji (1993) bahwa di perairan Selat Makassar bagian selatan diketahui terjadi *upwelling*, yang disebabkan oleh pertemuan arus dari Selat Makassar dan Laut Flores bergabung kuat menjadi satu dan mengalir kuat ke barat menuju Laut Jawa. Nontji juga menyatakan bahwa, *upwelling* di perairan Indonesia bersifat musiman terjadi pada Musim Timur (Mei-September), menunjukkan adanya hubungan yang erat antara *upwelling* dan musim. Ini berarti bahwa *upwelling* yang terjadi pada daerah penelitian terjadi umumnya masuk dalam jenis yang ketiga yaitu *upwelling* yang disebabkan oleh arus yang menjauhi pantai akibat tiupan angin darat yang terus-menerus selama beberapa waktu. Arus ini membawa massa air permukaan pantai ke laut lepas yang mengakibatkan ruang kosong di daerah pantai yang kemudian diisi dengan massa air di bawahnya.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dengan menggunakan data satelit penginderaan jauh sensor TMI dan AMSR-E, dapat diperoleh data sebaran SPL wilayah Indonesia belahan selatan khatulistiwa yang bebas dari tutupan awan. Berdasarkan data SPL dari sensor TMI dan AMSR-E, pada bulan Januari, Maret, dan April belum nampak adanya *upwelling* pada daerah penelitian, SPL umumnya berada pada kisaran 29°C-31°C kecuali di Samudera Hindia di agak jauh sebelah selatan Pulau Jawa. Gejala SPL rendah sebagai indikator *upwelling* terjadi pada minggu ketiga bulan Mei dengan adanya

sebaran SPL dalam kisaran 24°C-26°C di Samudera Hindia sebelah selatan Pulau Jawa, Selat Makassar bagian selatan, Laut Flores (sekitar Sulawesi Tenggara), dan di Laut Arafura. Gejala *upwelling* tersebut semakin menguat ditandai dengan dominasi massa air dengan SPL 23°C-24°C pada minggu pertama bulan Juli hingga mencapai puncak pada bulan Juli minggu ke empat dan berlangsung sampai minggu ke empat bulan Agustus, kemudian melemah hingga tak terlihat lagi di minggu ke lima bulan September. Lokasi yang diduga *upwelling* dengan intensitas paling tinggi terjadi di perairan sebelah selatan Pulau Jawa sampai selatan Pulau Flores di sisi selatan Selat Makassar.

4.2 Saran

Perlu suatu studi lebih mendalam tentang teknologi *microwave* untuk mendeteksi SPL di wilayah perairan laut Indonesia. Untuk memperkuat dugaan adanya *upwelling* di perairan Indonesia perlu dilakukan penelitian lanjut didukung dengan pengamatan terhadap kandungan klorofil, *sea surface height* (SSH) serta kecepatan dan arah angin.

DAFTAR RUJUKAN

- Gordon A.L., 2005. *Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow*. Journal Oceanography, Vol. 18, No. 4. 27 Pages.
- Nontji, A., 1993. *Laut Nusantara*. Penerbit Djambatan. Jakarta. 367 halaman.
- Qu T., Du Y., Strachan J., Meyer G. S., and Slingo J., 2005. *Sea Surface Temperature And Its Variability In The Indonesian Region Sea Surface Temperature And Its Variability In The Indonesian Region*. Journal Oceanography Vol. 18, No. 4. Page 51 – 61.

- Robinson, I. S., 1985. *Satellite Oceanography An Introduction for Oceanographers and Remote Sensing Scientists*, Ellis Horwood. England. 59 pages.
- Soegiarto A., Birowo S, dan Sukarno, 1976. *Atlas Oseanografi Perairan Indonesia dan Sekitarnya*. Lembaga Oseanologi Nasional - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Buku No. 3. 327 Halaman.
- Wentz, F.J. and Meissner, T., 2000. *AMSR Ocean Algorithm. Remote Sensing System. Santa Rosa. California.*
- Wyrcki, K., 1961. *Physical Oceanography of The Southeast Asean Waters*, University of California, La Jolla. California.