

## ESTIMASI RADIUS DEFORMASI *UPWELLING* DARI DATA SATELIT DAN ARGO FLOAT

### ESTIMATION OF *UPWELLING* DEFORMATION RADIUS FROM SATELLITE AND ARGO FLOAT

Hariansyah Noor<sup>1\*</sup>, Jonson Lumban Gaol<sup>2</sup>, I Wayan Nurjaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

\*Korespondensi: [hariansyahnoor@apps.ipb.ac.id](mailto:hariansyahnoor@apps.ipb.ac.id)

#### ABSTRACT

Upwelling is the process of seawater mass rising from the lower layers to the surface due to surface pressure differences. The upwelling process will increase the fertility of the waters because the water mass in the deep layer rises to the surface which is rich in nutrients needed by phytoplankton to grow. The extent of the upwelling area (deformation radius) will determine the impact of the upwelling process in the waters. This research aims to analyze the upwelling process and deformation radius from thermal sensor satellite data. The data used were daily thermal satellite data and monthly averages during 2014-2018. Data from the Argo buoy was used to validate the satellite data and calculate the upwelling deformation radius. Statistical analyses such as correlation, Root Mean Square Error (RMSE), bias, and standard deviation were applied to test the accuracy of the satellite estimation of the Sea Surface Temperature (SST) data. Deformation radius calculation data from Argo showed that in the eastern season of upwelling, the SST ranged between 24 to 26°C, otherwise normally it ranged between 27 to 29°C. The correlation between SPL from satellite data and SPL data from Argo is 0.92, the RMSE value was 0.0236, the bias was 0.017, and the standard deviation was 0.287. The correlation coefficient between the deformation radius from in situ data and satellite data was calculated to be high ( $r=0.9$ ), indicating that satellite imagery can be used to determine the deformation radius.

Keywords: Argo float, deformation radius, satellite, SST, upwelling

#### ABSTRAK

*Upwelling* adalah proses naiknya massa air laut dari lapisan bawah ke permukaan akibat perbedaan tekanan permukaan. Terjadi proses *upwelling* akan meningkatkan kesuburan perairan karena massa air di lapisan dalam naik ke permukaan yang kaya nutrisi yang dibutuhkan fitoplankton untuk berkembang. Luas sebaran daerah *upwelling* (radius deformasi) akan menentukan dampak proses *upwelling* di perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses *upwelling* dan radius deformasi dari data satelit sensor termal. Data yang digunakan adalah data satelit termal harian dan rata-rata bulanan selama tahun 2014-2018. Data dari buoy Argo digunakan untuk memvalidasi data satelit dan menghitung radius deformasi *upwelling*. Analisis statistik seperti korelasi, *Root Mean Square Error* (RMSE), bias, dan standar deviasi digunakan untuk menguji keakuratan perkiraan data Suhu Permukaan Laut (SPL) dari satelit. Data perhitungan radius deformasi dari Argo menunjukkan bahwa pada musim timur terjadi *upwelling*, SPL berkisaran antara 24-26°C, normalnya berkisaran antara 27-29°C. Korelasi antara SPL dari data satelit dan data SPL dari Argo adalah 0,92, nilai RMSE 0,0236, bias 0,017, dan standar deviasi 0,287. Koefisien korelasi antara radius deformasi dari data in situ dan data satelit yang dihitung tinggi ( $r=0,9$ ) menunjukkan bahwa citra satelit dapat digunakan untuk menentukan radius deformasi.

Kata kunci: *Argo float*, radius deformasi, satelit, SPL, *upwelling*

## PENDAHULUAN

*Upwelling* merupakan fenomena naiknya massa air dari kedalaman menuju ke permukaan yang disebabkan oleh pergerakan angin sejajar garis pantai yang dipengaruhi gaya Coriolis yang akhirnya menghasilkan arus Ekman sehingga terjadi kekosongan massa air di permukaan (Kämpf dan Chapman 2016). Naiknya massa air laut dari dasar perairan ke permukaan untuk mengisi kekosongan agar terjadi keseimbangan permukaan laut (Hasyim 2014). Fenomena *upwelling* sangat menarik untuk para peneliti, karena *upwelling* dapat menyuburkan perairan (Ward *et al.* 2006) dan meningkatkan produktivitas primer (Kemili dan Putri 2012). Produktivitas primer sangat berpengaruh terhadap produktivitas penangkapan perikanan tangkap (Kemili dan Putri 2012). Walaupun area terjadi *upwelling* di perairan dunia hanya sekitar 1% dari seluruh perairan dunia, namun dapat mendukung 20% lebih terhadap produktivitas penangkapan perikanan dunia (Silubun *et al.* 2015).

Di Indonesia terdapat beberapa lokasi terjadinya *upwelling*, di Selatan Jawa, Laut Banda, Arafura, dan beberapa wilayah lainnya. Proses *upwelling* yang cukup terkenal di Perairan Indonesia adalah *upwelling* musiman di Perairan Laut Jawa. *Upwelling* Barat Sumatra dan Selatan Jawa terjadi akibat angin monsoon timur pada priode Juni-Nopember (Kuswardani dan Qiao 2014; Gaol *et al.* 2015). Beberapa penelitian di Perairan Selatan Jawa sebelumnya telah dilakukan untuk mengkaji daerah *upwelling*. Identifikasi proses *upwelling* di Perairan Selatan Jawa pada awalnya dilakukan menggunakan metode pengambilan data secara langsung (Wyrtki 1962; Susanto *et al.* 2001). Ratnawati (2016) menganalisis *upwelling* dari kedalaman transport Ekman. Sejalan dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh, identifikasi *upwelling* telah dilakukan di Selatan Jawa (Alawiyah *et al.* 2018). Terjadinya *upwelling* ditandai dengan penurunan Suhu Permukaan Laut (SPL) (Kuswardani dan Qiao 2014; Silubun *et al.* 2015; Rachman *et al.* 2019). SPL dapat diukur secara tidak langsung menggunakan teknologi penginderaan jarak jauh yang menggunakan teknologi satelit sensor termal. Satelit sensor termal yang digunakan merupakan data multisensor yang dimana gabungan dari beberapa satelit termal. *Argo float* merupakan alat instrumentasi yang bergerak mengikuti arus dan muncul pada

setiap 10 hari dan akan dikirim ke satelit. Data *Argo float* digunakan sebagai data *in situ*.

Selain penelitian terjadinya proses *upwelling*, informasi mengenai intesistas *upwelling* juga diperlukan. Beberapa metode yang dikembangkan untuk menghitung intensitas *upwelling* diantaranya adalah indeks *upwelling* dan radius deformasi *upwelling*. Penentuan radius deformasi menggunakan data pengukuran langsung distribusi suhu di perairan. Oleh karena itu relatif sulit dilakukan, berhubungan dengan peralatan, kapal, dan waktu pengukuran. Perkembangan teknologi penginderaan jarak jauh satelit untuk mengukur Suhu Permukaan Laut (SPL) secara akurat dimungkinkan untuk pemetaan distribusi spasial dan temporal SPL untuk menganalisis radius deformasi *upwelling* tanpa harus melakukan pengukuran langsung. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk memanfaatkan data citra satelit termal untuk menganalisis terjadinya proses *upwelling* dan radius deformasinya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan pada Perairan Selatan Jawa dengan cakupan wilayah 50°LS-10°LS dan 105°BT-115°BT (Gambar 1). Penelitian dilakukan pada bulan Februari-Mei 2023 menggunakan data dari tahun 2014-2018. Perairan Selatan Jawa merupakan perairan yang berhubungan langsung dengan Samudra Hindia, hal tersebut membuat terdapat perbedaan faktor berpengaruh terhadap dinamika perairan ini angin monsoon dan perubahan iklim yaitu *Indian Ocean Dipole* (IOD), *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), dan Arlindo (Martono dan Wardoyo 2017).

### Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah perangkat keras berupa laptop dan perangkat lunak Microsoft Excel, Microsoft Word, ArcGIS, *Ocean Data View* (ODV), dan program *Ferret*. Bahan penelitian yang digunakan terdiri atas data harian dan rata-rata bulanan satelit Suhu Permukaan Laut (SPL) multisensor yang didapat dari <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html> dengan resolusi spasial 0,01 derajat dari tahun 2014-2018, data harian dan rata-rata bulanan SPL yang didapat dari *Marine Copernicus* <https://resources>.

marine.copernicus.eu dengan resolusi spasial 0,082 derajat dari tahun 2014-2018 dan data *Argo float* dari tahun 2014-2018 diperoleh dari <http://www.usgodae.org/>.

**Prosedur penelitian**

Pengolahan data Suhu Permukaan Laut (SPL) bulanan menggunakan program lunak *Ferret* untuk menampilkan dan menganalisis perubahan suhu permukaan laut untuk melihat terjadinya *upwelling* atau tidak. Data *Argo* digunakan untuk memverifikasi data citra satelit dan melihat perubahan suhu terhadap kedalaman menggunakan perangkat lunak *Ocean Data View* (ODV). Untuk menguji akurasi data SPL estimasi dari satelit digunakan analisis statistik korelasi dan menghitung nilai *Root Mean Squared Error* (RMSE), bias dan standar deviasi menggunakan perangkat lunak Excel.

**Suhu Permukaan Laut (SPL)**

Data SPL dari satelit yang digunakan merupakan data gabungan dari beberapa multisensory yang memiliki perbedaan ukuran grid. Untuk menyamakan resolusinya maka dilakukan metode interpolasi sehingga menghasilkan grid yang sama. Untuk melihat profil suhu terhadap kedalaman dilakukan menggunakan pendekatan transek data dari *Marine Copernicus* yang dapat diunduh (<https://resources.marine.copernicus.eu>), data tersebut merupakan data gabungan dari beberapa satelit dan model oseanografi yang digunakan dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS).

**Analisis spasial**

Data SPL ditampilkan secara spasial mengidentifikasi daerah *upwelling*. Indikator *upwelling* dari citra satelit dapat ditinjau berdasarkan sebaran SPL, dengan nilai SPL ≤ 26°C (Oktaviani *et al.* 2021).

**Verifikasi data**

Verifikasi data dilakukan untuk menilai keakuratan antara SPL estimasi dari satelit dengan data *Argo*, maka dihitung deviasi rata-rata (bias), standar deviasi (STD), rata-rata akar *square error* (RMSE), dan koefisien korelasi (r). Rumus perhitungan untuk setiap matrik adalah sebagai berikut (Sugiyono 2018):

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^N (X - Y)}{N}$$

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(X - Y) - (x - y)]^2}{N}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X - Y)^2}{N}}$$

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

Dimana:

- r = Nilai koefisien korelasi
- X = Nilai variabel data satelit
- Y = Nilai variabel data *Argo*
- N = Jumlah data
- x = Rata-rata satelit
- y = Rata-rata *Argo*

**Analisis radius deformasi**

Analisis radius deformasi dilakukan menggunakan persamaan Gill dan Clarke (1974). pendekatan transek profil temperatur dan estimasi SPL dari satelit. Analisis radius deformasi dengan pendekatan data satelit berdasarkan distribusi nilai SPL dari data satelit pada isotherm 26°C. Analisis radius deformasi pada transek dengan menganalisis profil suhu secara vertikal. Analisis radius deformasi *upwelling* berdasarkan data *Argo* menggunakan persamaan yang telah diturunkan oleh Gill dan Clarke (1974). Persamaan ini berdasarkan penurunan persamaan gerak fluida dengan mengasumsikan bahwa kedalaman dianggap sama dan seragam, garis pantai dianggap sejajar dengan sumbu x dan angin bertiup sejajar dengan pantai sebagai berikut:

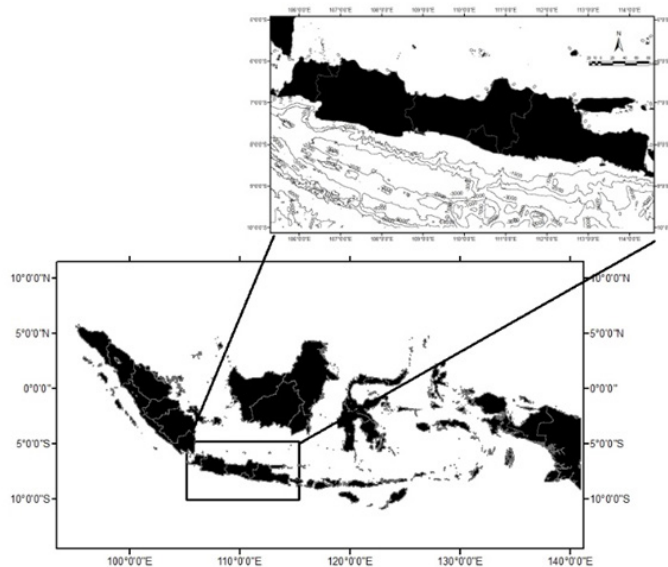
$$Radius\ deformasi = \frac{Mode\ baroklinik}{Gaya\ coriolis}$$

$$Mode\ baroklinik = \left( Reduced\ gravity \left( \frac{m}{dt} \right) * Lapisan\ tercampur(m) \right)^{1/2}$$

$$Reduced\ gravity = \frac{Gravitasi\ bumi \left( \frac{m}{s} \right) * \left( Densitas\ 2 \left( \frac{kg}{m^3} \right) - Densitas\ 1 \left( \frac{kg}{m^3} \right) \right)}{Densitas\ 2 \left( \frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$Gaya\ coriolis = 2\Omega \sin\theta$$

Dimana: Ω = 7,29x10<sup>-5</sup> rad/detik, dan θ adalah nilai lintang dari lokasi pengamatan yang dilakukan.



Gambar 1. Daerah lokasi penelitian Perairan Selatan Jawa

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Distribusi suhu permukaan laut (SPL) dan *upwelling*

Suhu permukaan laut yang terjadi di Perairan Selatan Jawa dibagi menjadi beberapa musim yaitu musim muson timur, muson barat, muson peralihan satu, dan muson peralihan dua. Pada penelitian ini difokuskan pada peralihan satu dan peralihan dua. Hal tersebut dikarenakan untuk melihat perbedaan perairan Selatan Jawa pada saat terjadinya *upwelling* dan tidak terjadi *upwelling*. Tahun yang dipilih yaitu 2014, 2017, dan 2018 hal tersebut dikarenakan daerah tersebut merupakan perairan yang dalam keadaan normal, maksudnya daerah tersebut tidak terpengaruh oleh fenomena alam.

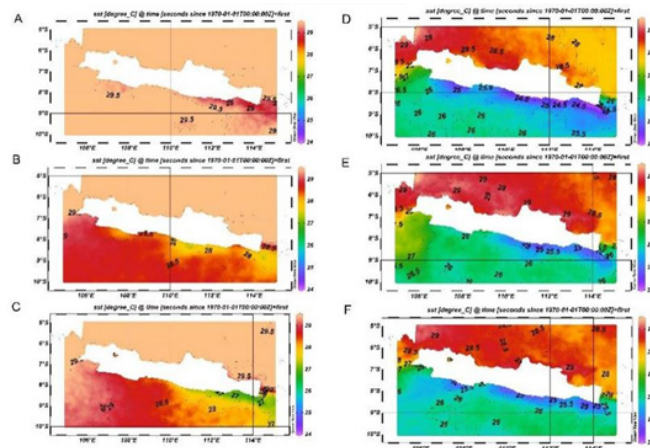
*Upwelling* di Perairan Selatan Jawa terjadi dua pendekatan, pertama *upwelling* dikarenakan pengaruh angin muson timur yang biasanya terjadi pada pesisir pantai hingga lepas pantai dan kedua pengaruh pertemuan dua arus yang bertumbukan, biasanya terjadi di lepas pantai.

Pada Gambar 2 tertera distribusi SPL rata-rata bulanan pada bulan Mei dan September tahun 2014, 2017, dan 2018. Distribusi SPL pada saat tidak terjadi *upwelling* (Gambar 2 (A), (B), dan (C)) menunjukkan bahwa SPL di Perairan Selatan Jawa lebih tinggi dibandingkan dengan SPL pada saat terjadi *upwelling* (Gambar 2 (D), (E), dan (F)). Nilai kisaran SPL pada saat terjadi *upwelling* adalah 24-

26°C dan pada saat tidak terjadi *upwelling* adalah 27-29°C. Distribusi SPL pada bulan Mei cukup tinggi yaitu sebesar 27-29°C saat peralihan musim barat menuju musim timur. Penelitian Fadika *et al.* (2014), musim peralihan 1 (Maret, April, dan Mei) angin didominasi oleh angin bertiup dari arah utara dan tenggara, terdapat pula angin dari arah barat daya. Secara spasial rata-rata bulanan SPL di wilayah bagian timur selatan Jawa lebih kecil dibandingkan dengan SPL di sebelah barat. Angin yang bergerak sehingga menghasilkan arus permukaan laut bergerak rata-rata menuju arah timur.

Distribusi SPL rata-rata bulanan SPL pada bulanan September (Gambar 3 (E), (F), dan (G)) tidak homogen. Distribusi SPL berdekatan dengan pantai selatan Jawa lebih rendah dari sekitarnya menunjukkan terjadinya proses *upwelling* dengan nilai SPL 24-26°C. Penelitian Hasyim *et al.* (2010) menghasilkan SPL 23-26°C. Pada bulan September angin masih didominasi oleh yang datang dari arah timur, Selatan, dan tenggara, namun kecepatan sudah berkurang dibandingkan dengan bulan sebelumnya (Agustus). Hal tersebut diperkuat oleh penelitian Fadika *et al.* (2014) menyebutkan pada musim peralihan dua masih pengaruh musim timur, dan dibutuhkan waktu untuk melepaskan SPL. Pergerakan angin pada selatan Jawa yang membuat massa air bergeser sehingga terjadi kekosongan masa air sehingga naiknya massa air ke permukaan yang membawa suhu rendah yang dapat dilihat pada Gambar 2 (D), (E), dan (F).





Gambar 2. Suhu Permukaan Laut (SPL) pada saat tidak terjadi *upwelling* dan *upwelling* di Perairan Selatan Jawa. (A) Mei 2014, (B) Mei 2017, (C) Mei 2018, (D) September 2014, (E) September 2017, dan (F) September 2018

Profil suhu vertikal juga menunjukkan bahwa pada musim timur terjadi *upwelling* seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Suhu permukaan pada saat *upwelling* adalah 24,6°C dan pada saat tidak terjadi *upwelling* adalah 29,5°C. Pada saat *upwelling* massa air dari lapisan dalam naik sekitar 65 m yang ditandai dengan tanda panah.

**Suhu permukaan laut dari satelit dan Argo**

Diagram pencar antara SPL estimasi dari sensor satelit dan Argo tertera pada Gambar 4. Nilai RMSE antara SPL estimasi dari satelit dengan data *in situ* dari *buoy* Argo adalah sebesar 0,288. Hasil analisis statistik lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai RMSE yang cukup kecil menunjukkan bahwa data SPL dari citra satelit dapat digunakan untuk pengamatan SPL secara berkelanjutan. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa nilai RMSE SPL dari citra MODIS cukup kecil yaitu yaitu 0,2461 (untuk sensor Aqua MODIS), 0,4854 (Terra MODIS), dan 0,2228 NOAA-AVRHRR (Sunarernanda *et al.* 2017).

Koefisien korelasi data satelit dan data *in situ* ( $r=0,94193$ ) menunjukkan hubungan yang kuat. Penelitian Feng *et al.* (2023) juga menunjukkan nilai koefisien yang tinggi dengan nilai  $r=0,9975$  (Modis-T-iQuam2) dan  $r=0,9944$  (Himawari-8-iQuam2). Bias antara SPL estimasi dari satelit dan Argo adalah 0,01682 (Tebel 1). Penelitian sebelumnya menunjukkan nilai bias 0,0879 (Modis-T-iQuam2) dan 0,0429 (Modis-A-iQuam2) (Feng *et al.* 2023). Nilai standar sebesar deviasi 0,28736. Penelitian

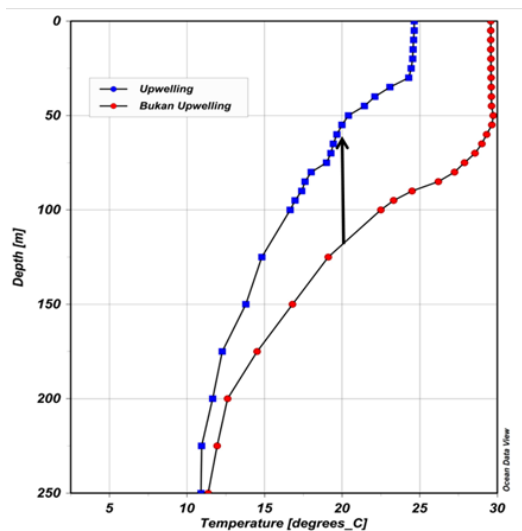
Feng *et al.* (2023) menunjukkan STD 0,4485 (Modis-T-iQuam2) dan 0,4431 (Modis-A-iQuam2). Nilai Bias dan standar deviasi yang kecil menunjukkan bahwa data satelit dan data *Argo float* memiliki perbedaan nilai yang kecil.

**Radius deformasi *upwelling***

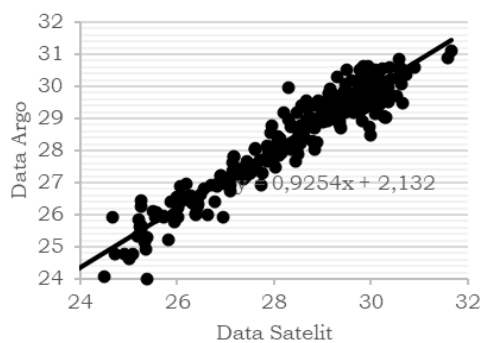
Radius deformasi *upwelling* adalah salah satu pendekatan untuk menghitung jarak *upwelling* dari pinggir pantai sampai dengan lepas pantai, serta untuk melihat apakah terjadi pola jarak yang terjadi pada saat kondisi perairan normal.

Pada Gambar 5 menunjukkan pendekatan radius deformasi *upwelling* menggunakan data citra satelit dan data transek terhadap kedalaman yang diwakilkan pada bulan September pada tahun 2014, 2017, dan 2018. Pendekatan tersebut diukur dari tempat terjadinya *upwelling* nilai SPL <26°C sampai nilai SPL 26°C.

Perbandingan radius deformasi pada saat *upwelling* hasil perhitungan, transek, dan estimasi dari citra satelit pada bulan Agustus-Oktober pada tahun 2014, 2017, dan 2018 tertera pada Gambar 6. Pada bulan Oktober 2017 tidak terlihat proses *upwelling* dari data satelit dan data transek. Koefisien korelasi antara radius deformasi hasil perhitungan, transek, dan estimasi dari sensor satelit menunjukkan bahwa hubungan antara radius deformasi hasil perhitungan, transek, dan estimasi dari sensor satelit menunjukkan bahwa hubungan antara radius deformasi hasil perhitungan sangat tinggi ( $r=0,92$ ) (Tabel 2).



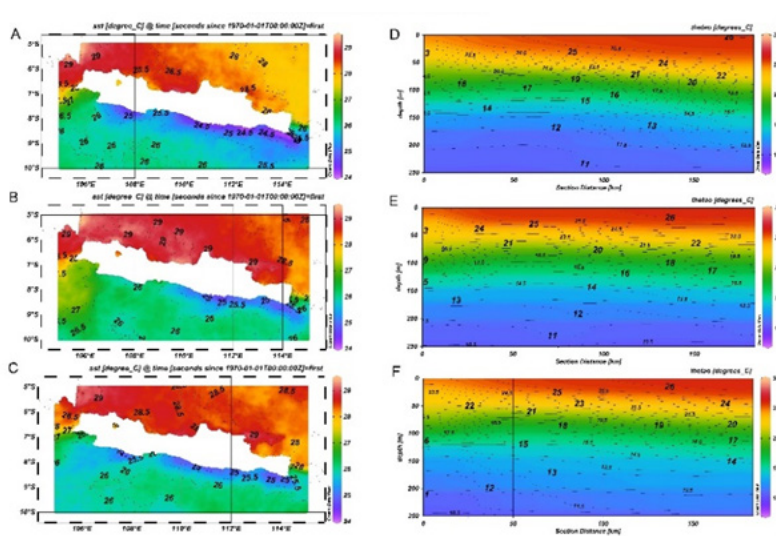
Gambar 3. Profil vertikal suhu data Argo terhadap kedalaman



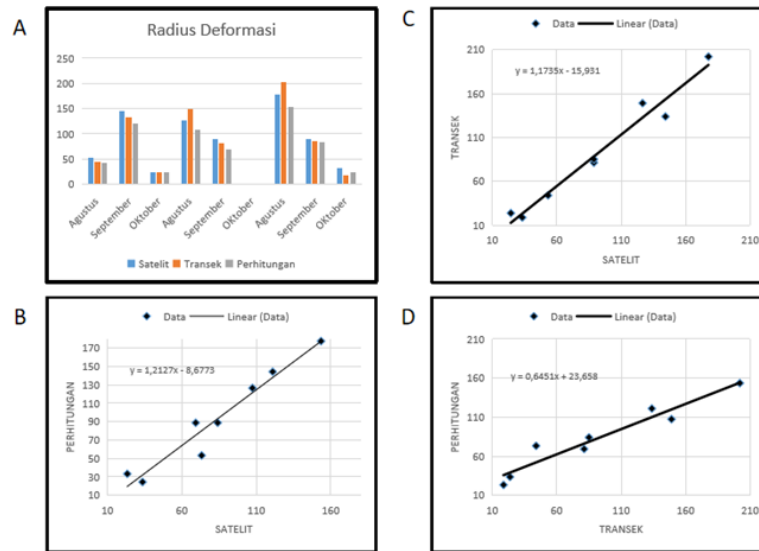
Gambar 4. Plot data satelit dan data Argo pada musim peralihan

Tabel 1. Analisis Statistik data satelit dan data Argo

STT	N	Persamaan	Bias	RMSE	STD	R
Satelit dan Argo	294	$y = 0,9852x + 0,4193$	0,01682	0,28834	0,28736	0,94193



Gambar 5. Estimasi radius deformasi dari citra satelit, (A) Bulan September 2014, (B) Bulan September 2017, (C) Bulan September 2018. Deformasi berdasarkan transek (D) Bulan September 2014, (E) Bulan September 2017, dan (F) Bulan September 2018



Gambar 6. (A) Grafik radius deformasi dan diagram pencar, (B) Radius deformasi satelit dan perhitungan, (C) Radius deformasi satelit dan transek, (D) Radius deformasi perhitungan dan transek

Tabel 2. Hasil statistik radius deformasi dari metode transek, perhitungan, dan estimasi citra satelit

Radius deformasi	N	Persamaan	Bias (km)	RMSE (km)	STD (km)	r (km)	r <sup>2</sup> (km)
Satelit dan transek	8	$y = 1,1735x - 15,931$	0,007	0,020	0,224	0,992	0,96
Satelit dan Perhitunga	8	$y = 1,2127x - 8,6773$	1,125	3,183	22,281	0,991	0,92
Perhitungan & transek	8	$y = 0,6451x + 23,658$	1,133	3,203	22,424	0,981	0,94

Gambar 6(B) menunjukkan radius deformasi hasil satelit dan perhitungan menunjukkan hasil baik dengan nilai standar deviasi 0,92 (Tabel 2) yang berarti hasil satelit dan perhitungan nilainya tidak terlalu beda jauh. Gambar 6(C) menunjukkan radius deformasi hasil transek dan satelit menunjukkan hasil baik dengan nilai standar deviasi 0,96 (Tabel 2). Gambar 6(D) menunjukkan radius deformasi hasil perhitungan dan transek menunjukkan hasil baik dengan nilai standar deviasi 0,94 (Tabel 2) dengan grafik menunjukkan nilai hasil transek lebih besar dibandingkan nilai perhitungan.

maupun dari kisaran 24-26°C, estimasi SPL dari data satelit mempunyai tingkat akurasi yang tinggi saat dibandingkan dengan data pengukuran langsung dengan *buoy* Argo.

- Pendekatan untuk menentukan radius deformasi *upwelling* dari data distribusi spasial SPL sensor termal dapat digunakan sebagai alternatif untuk melengkapi jika data pengukuran *in situ* (data Argo).
- Data satelit termal dapat dimanfaatkan untuk mengamati terjadinya *upwelling* dan menghitung radius defromasi

**Saran**

Pengkajian radius deformasi dari SPL satelit di wilayah *upwelling* lainnya seperti di Laut Banda, Arafuru, dan Selatan Sulawesi perlu dilakukan untuk melihat konsistensi penggunaan data satelit.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

- Pada musim timur terjadi proses *upwelling* dengan nilai SPL dari Argo

## DAFTAR PUSTAKA

- Alawiyah EA, Bandi S, Nurhadi B. 2018. Analisis Pola Arus Geostropik Perairan Samudera Hindia untuk Identifikasi *Upwelling* Menggunakan Data Satelit Altimetri. *Jurnal Geodesi Undip*. 7(1): 68-78.
- Fadika U, Rifai A, Rochaddi B. 2014. Arah dan Kecepatan Angin Musim serta Kaitannya dengan Sebaran Suhu Permukaan Laut di Selatan Pengandaran Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*. 3(3): 429-437.
- Feng C, Yin W, He S, He M, Li X. 2023. Evaluation of SST Data Products from Multi-Source Satellite Infrared Sensors in the Bohai-Yellow-East China Sea. *Remote Sensing*. 15(10): 1-20.
- Gaol JL, Leben RR, Vignudelli S, Mahapatra K, Okada Y, Nababan B, Mei-Ling M, Amri K, Arhatin RE, Syahdan M. 2015. Variability of Satellite-Derived Sea Surface Height Anomaly, and its Relationship with Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) Catch in the Eastern Indian Ocean. *European Journal of Remote Sensing*. 28(1): 465-477.
- Gill AE, Clarke AJ. 1974. Wind Induced Upwelling, Coastal Current, and Sea Level Changes. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*. 21(5): 325-245.
- Hasyim B. 2014. Identifikasi Zona Potensi Penangkapan Ikan di Selat Madura Waktu Terjadi El Nino berdasarkan Data Penginderaan Jarak Jauh. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*. 769-783.
- 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): 130-148.
- Kämpf J, Chapman P. 2016. *Upwelling Systems of the World*. Switzerland (CH): Springer International Publishing.
- Kemili P, Putri MR. 2012. Pengaruh Durasi dan Intensitas *Upwelling* berdasarkan Anomali Suhu Permukaan Laut terhadap Variabilitas Produktivitas Primer di Perairan Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 4(1): 66-79.
- Kuswardani RTD, Qiao F. 2014. Influence of the Indonesian Throughflow on the Upwelling off the East Coast of South Java. *Chinese Science Bulletin*. 59(33): 4516-4523.
- Martono, Wardoyo T. 2017. Impact of El Nino 2015 and The Indian Ocean Dipole 2016 on Rainfall in the Pameungpeuk and Cilacap Regions. *Forum Geografi*. 31(2): 184-195.
- Oktaviani D, Handoyo G, Helmi M, Kunarso, Wirasatriya A. 2021. Karakteristik *Upwelling* pada Periode *Indian Ocean Dipole* (IOD) Positif di Perairan Selatan Jawa Barat. *Indonesian Journal of Oceanography*. 3(4): 23-30.
- Rachman AH, Gaol JL, Syamsudin F. 2019. Variasi Data Suhu Permukaan Laut, Tinggi Paras Laut, Klorofil-a, dan *Upwelling* di Perairan Selatan Jawa serta Korelasinya dengan Data Lapangan. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 5(2): 289-296.
- Ratnawati HI, Hidayat R, Bey A, June T. 2016. *Upwelling* di Laut Banda dan Pesisir Selatan Jawa serta Hubungannya dengan ENSO dan IOD. *Omni-Akuatika*. 12(3): 119-130.
- Silubun DT, Gaol JL, Naulita Y. 2015. Estimasi Intensitas *Upwelling* Pantai dari Satelit AQUA MODIS di Perairan Selatan Jawa dan Barat Sumatera. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. 6(1): 21-29.
- Sugiyono. 2018. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Kombinasi (Mixed Methods)*. Bandung (ID): Alfabeta.
- Sunarernanda DP, Sasmito B, Prasetyo Y. 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.
- Susanto RD, Gordon AL, Zheng Q. 2001. *Upwelling* Along the Coast of Java and Sumatra and its Relation to ENSO. *Geophysical Research Letter*. 28(8): 1599-1602.
- Ward TM, McLeay LJ, Dimmlich WF, Rogers PJ, McClatchie S, Matthews R, Kämpf J, Van Ruth PD. 2006. Pelagic Ecology of a Northern Boundary Current System: Effects of Upwelling on the Production and Distribution of Sardine (*Sardinops sagax*), Anchovy (*Engraulis australis*), and Southern Bluefin Tuna (*Thunnus maccoyii*) in the Great Australian Bight. *Fisheries Oceanography*. 15(3): 191-207.



Wyrтки K. 1962. The Upwelling in the Region Between Java and Australia During the South-East Monsoon. *Marine and Freshwater Research*. 13(3): 217-225.