

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengantar

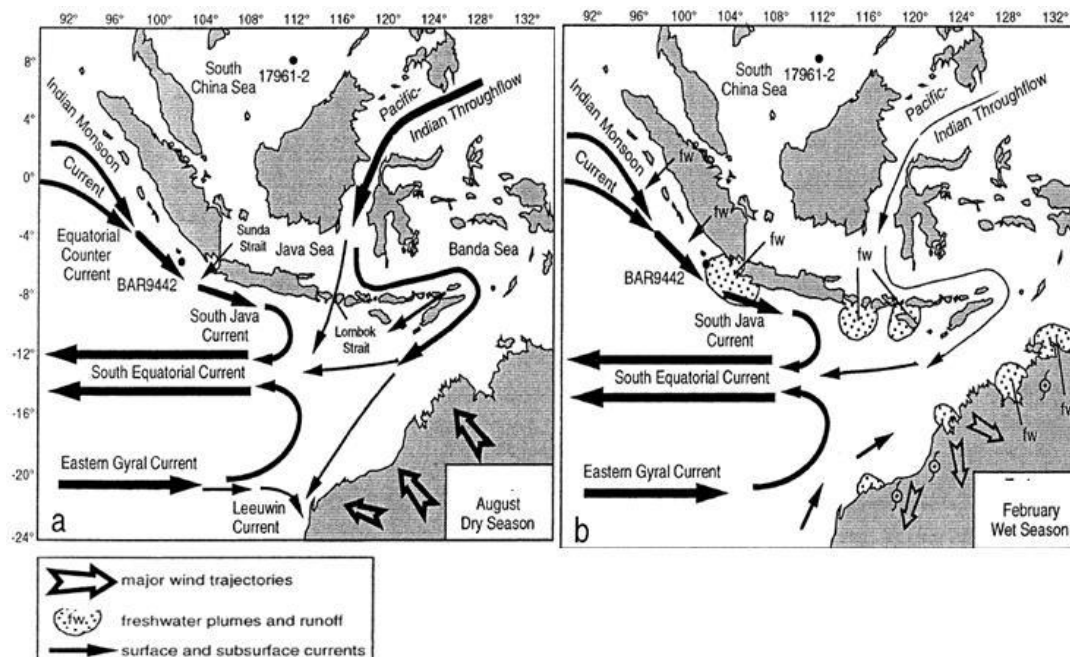
1.1.1 Latar Belakang

Perairan yang berada di Selatan Jawa dipengaruhi oleh Samudera Hindia, perairan Barat Sumatera dan massa air yang berasal dari Laut Jawa yang masuk melalui Selat Sunda. Terdapat variasi pola pergerakan angin massa air laut di Selatan Jawa, karena adanya variasi pola pergerakan angin sebagai pembangkit utama terjadinya pergerakan massa air laut di Selatan Jawa pada Agustus. Berdasarkan Gambar 1.1 menggambarkan pola pergerakan massa air laut di Selatan Jawa pada Agustus (Musim Timur) dan Februari (Musim Barat) (Dingele (2001).

Kondisi oseanografi di Perairan Selatan Jawa secara umum dipengaruhi oleh Angin Muson yang lazim disebut sebagai "*Asian-Australian Monsoon System*" yaitu Muson Tenggara (*Southeast Monsoon*) dan Muson Barat Laut (*Northwest Monsoon*). Muson Tenggara pada umumnya terjadi pada Bulan Mei-September. Muson Tenggara berkorelasi dengan Angin Timur yang berasal dari Australia membawa udara hangat dan kering yang menyebabkan musim kemarau di daerah yang dilalui. Muson Barat Laut pada umumnya terjadi pada Bulan Desember-Februari. Muson Barat Laut berkorelasi dengan angin Barat yang berasal dari Asia membawa udara hangat dengan kandungan uap air yang tinggi menyebabkan musim hujan di daerah yang dilalui. Hastenrath (1985) juga menjelaskan bahwa pada Muson Barat Laut (Muson Barat) umumnya angin bertiup sangat kencang dan curah hujan tinggi, sedangkan pada Muson Tenggara (Muson Timur) kondisi angin umumnya relatif tenang dan curah hujan rendah. Gambar 1.1 menunjukkan kuatnya pengaruh angin muson pada Perairan Selatan Jawa terlihat melalui terbentuknya aliran massa air pada lapisan permukaan ke arah Tenggara di sepanjang Pantai Barat Daya Sumatera dan ke arah Timur di Selatan Jawa hingga Sumbawa selama bertiup angin Muson Barat laut.

Perairan Indonesia yang luas memiliki potensi sumber daya kelautan yang besar, namun ketersediaan sumber daya tersebut berbeda bergantung pada kesuburan

perairan. Menurut Kemili P (2012), tingkat produktivitas suatu perairan dipengaruhi oleh berbagai faktor, tiga faktor utama adalah ketersediaan nutrisi, cahaya dan suhu. Nutrien dibutuhkan oleh fitoplankton untuk tumbuh dan berkembang biak, cahaya dibutuhkan untuk melakukan proses fotosintesis dan temperatur sebagai pengatur laju fotosintesis dan distribusi fitoplankton.



Gambar 1.1 Sirkulasi massa air di Selatan Jawa (a) Agustus (b) Februari

Sumber: Dingle dkk.2001

Tingkat konsentrasi nutrisi yang tinggi umumnya ditemukan di lapisan dalam dengan tingkat pencahayaan yang rendah oleh sebab itu, diperlukan suatu proses untuk menjaga ketersediaan nutrisi di permukaan. *Upwelling* merupakan suatu istilah untuk menyatakan proses naiknya massa air dari bawah ke permukaan laut. Berdasarkan beberapa kajian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa daerah *upwelling* merupakan daerah lepas pantai (Nontji, 1993). Wilayah *upwelling* umumnya ditandai dengan kandungan nutrisi yang tinggi dan suhu permukaan yang lebih rendah dari sekitarnya. Fenomena *upwelling* yang terjadi di perairan Selatan Jawa merupakan respon terhadap bertiupnya angin Muson Tenggara yang berpindah (Susanto, 2001). Adanya data penginderaan jauh secara temporal dapat mengetahui *trend* perpindahan lokasi *upwelling* yang berguna bagi dunia perikanan.

Pendugaan daerah *upwelling* dilakukan dengan mengidentifikasi variabilitas suhu permukaan laut dan juga konsentrasi klorofil-a yang dilakukan berdasarkan data penginderaan jauh, karena memiliki cakupan yang luas dan dapat dilakukan secara berkala per bulan. Salah satu kelemahan dalam citra penginderaan jauh yaitu, adanya tutupan awan meskipun panjang gelombang yang digunakan sensitif terhadap perubahan dan perbedaan suhu permukaan laut dan klorofil-a.

Perdana A.P (2006) menyebutkan bahwa persebaran lokasi *upwelling* berada di Selatan Bali sampai Jawa Timur yang diketahui melalui citra Aqua MODIS dan Argo Float, namun dalam penelitian ini tidak menyebutkan pola pergerakan *upwelling* di perairan Selatan Jawa. Menurut penelitian Kunarso (2011), menyebutkan bahwa pola persebaran *upwelling* hanya terdapat di daerah sekitar Pulau Bali dan Jawa Timur yang disebabkan adanya Arus Pantai Jawa dan Arus Lintas Indoensia (Arlindo). Fenomena *upwelling* terkuat terdapat di Bali, karena dipengaruhi Arlindo yang keluar melalui Selat Lombok.

Satelit Aqua MODIS mempunyai resolusi spasial yang besar dan mempunyai nilai spektral yang cocok digunakan dalam identifikasi suhu permukaan laut dan klorofil-a. Data citra Aqua MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spektroradiometer*) level 3, dimaksudkan agar daerah kajian dapat tercakup secara keseluruhan dan data pada level 3 sudah mencakup nilai suhu permukaan laut dan klorofil-a yang dapat dianalisa secara temporal baik 3 hari, 8 hari, 16, sampai per-bulan.

1.1.2 Perumusan Masalah

Pendugaan daerah *upwelling* sangat berguna dalam dunia perikanan, dikarenakan di daerah ini terdapat konsentrasi ikan. Para nelayan di Selatan Jawa – Nusa Tenggara dan sekitarnya masih bersifat tradisional. Waktu, tenaga dan biaya operasional dan ketidakpastian hasil tangkapan masih cukup tinggi, oleh sebab itu diperlukan suatu metode dalam penentuan lokasi ikan berdasarkan pendekatan beberapa upaya: (a) Mempelajari keberadaan ikan berdasarkan beberapa parameter lingkungan yang mempengaruhi, (b) Mempelajari hubungan antara suhu permukaan laut, klorofil, dan *upwelling*.

Pada zona WPP RI-573 (Perairan Selatan Jawa – Nusa Tenggara) dipengaruhi oleh ENSO (*El nino Southern Oscilation*) dan IOD (*Indonsian Oscilation Dipole Mode*), merupakan faktor yang mempengaruhi intensitas *upwelling*. ENSO berkaitan dengan perubahan tekanan udara pada permukaan laut, serta anomali suhu permukaan laut pada ekuatorial Lautan Pasifik yang lebih tinggi/rendah daripada normal. Perairan dan atmosfer seperti perubahan suhu permukaan laut, perubahan tinggi muka air laut, perubahan kondisi *upwelling*, perubahan pola angin permukaan, dan perubahan pola curah hujan. Berdasarkan uraian di atas, maka pertanyaan penelitian yang dapat disimpulkan adalah:

1. Bagaimana variabilitas klorofil-a dengan kejadian *upwelling*?
2. Bagaimana variabilitas suhu permukaan laut dengan kejadian *upwelling*?
3. Bagaimana pola distribusi fenomena *upwelling* di Perairan Selatan Jawa selama Januari 2014 – Maret 2016?

1.1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan perumusan masalah adalah:

1. Menentukan variabilitas klorofil-a dengan kejadian *upwelling*.
2. Menentukan variabilitas suhu permukaan laut dengan kejadian *upwelling*.
3. Mendeteksi pola distribusi fenomena *upwelling* di sepanjang Perairan Selatan Jawa selama Januari 2014-November 2016.

1.1.4 Kegunaan Penelitian

1. Penelitian ini merupakan penerapan teknologi penginderaan jauh dalam bidang kelautan dan perikanan.
2. Memberikan gambaran perolehan parameter penentuan *upwelling* yang diperoleh dari hasil pengolahan citra Aqua MODIS.
3. Memberikan informasi bagi masyarakat di sekitar Perairan Selatan Jawa terutama nelayan mengenai kondisi perairannya akibat terjadinya fenomena *upwelling*, sehingga dapat dilakukan adaptasi dalam pemanfaatan sumberdaya perairan untuk peningkatan kesejahteraan.

1.2 Telaah Pustaka dan Penelitian Sebelumnya

1.2.1 Telaah Pustaka

1.2.1.1 Upwelling

Upwelling adalah penaikan massa air laut dari lapisan dalam ke lapisan permukaan. Gerakan naik ini membawa serta air yang suhunya lebih dingin, salinitas tinggi dan zat-zat hara yang kua akan nutrient ke permukaan (Nontji, 2005). Pada umumnya pergerakan arus selalu membentuk sudut yang menuju ke arah laut sebagai efek gaya Coriolis dan divergensi Ekman. Efek tersebut menyebabkan terjadinya aliran air laut permukaan yang menjauhi garis pantai, sehingga terdapat kekosongan massa air laut permukaan yang akan terisi oleh massa air bagian dalam.

Menurut Barnes (1988), proses upwelling ini dapat terjadi dalam tiga bentuk yaitu:

1. Pada waktu arus dalam (*deep current*) bertemu dengan rintangan seperti *mid-ocean ridge* (suatu sistem ridge bagian tengah lautan), arus tersebut dibelokkan ke atas dan selanjutnya air mengalir deras ke permukaan.
2. Ketika dua massa air bergerak berdampingan, misalnya saat massa air yang di Utara di bawah pengaruh gaya coriolis dan massa air di Selatan ekuator bergerak ke Selatan di bawah pengaruh gaya coriolis juga, keadaan tersebut akan menimbulkan “ruang kosong” pada lapisan di bawahnya. Kedalaman massa air itu naik tergantung pada jumlah massa air permukaan yang bergerak ke sisi ruang kosong tersebut dengan kecepatan arusnya. Hal ini terjadi, karena adanya divergensi pada perairan laut tersebut.
3. *Upwelling* dapat pula 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.

Massa air yang berasal dari lapisan yang lebih dalam ini kaya akan larutan nutrien seperti nitrat dan fosfat dan oleh sebab itu massa air ini cenderung banyak mengandung fitoplankton. Fitoplankton merupakan pangkal dari rantai makanan, maka pada area perairan yang terjadi *upwelling* merupakan tempat yang subur bagi

populasi ikan (Hutabarat dan Evans, 1986). Berdasarkan kisaran rata-rata nilai suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a dari hampir semua lokasi *upwelling* di Indonesia, Kunarso (2005) membagi intensitas *upwelling* yaitu tingkatan *upwelling* lemah, sedang dan kuat (Tabel 1.4).

Tabel 1.1 Hubungan Suhu dan Klorofil-a

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Klorofil-a (mg/m^3)	Kriteria <i>upwelling</i>
>27	< 1	<i>Upwelling</i> lemah
26-27	1-2	<i>Upwelling</i> sedang
< 26	> 2	<i>Upwelling</i> kuat

Sumber: Kunarso *et al.*, 2005

Intensitas *upwelling* dan luasan *upwelling* dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah iklim global, karena dapat menyebabkan perubahan terhadap pola angin yang bertiup di atas permukaan laut. Dengan berubahnya pola angin yang bertiup pada permukaan laut maka arus yang terjadi juga akan ikut berubah. Perubahan arus pada permukaan laut inilah yang mempengaruhi luasan *upwelling* yang akan terjadi (Susanto dan Marra J., 2003).

1.2.1.2 Kejadian *Upwelling* di Indonesia

Kejadian *upwelling* pada suatu perairan dapat diidentifikasi dengan melihat berbagai indikator seperti suhu yang lebih rendah dari sekitarnya, salinitas, nutrien, dan klorofil-a yang secara umum lebih tinggi dari daerah sekitarnya (Nontji, 2005). Selain indikator tersebut, angin yang sejajar garis pantai juga menjadi sebab terjadinya *upwelling* di daerah pantai suatu pulau atau paparan benua (Stewart, 2002). Pola Angin Musim Tenggara dan Timur Laut yang menuju ekuator juga menjadi penyebab terjadinya *upwelling*, karena adanya divergensi (Thurman, 1991) dan pertemuan dua sistem arus atau adanya percabangan arus laut dapat menjadi salah satu penyebab terjadinya *upwelling* (Nontji, 1987)

Upwelling di Perairan Indonesia dibangkitkan oleh Angin Muson Tenggara yang terjadi pada Bulan April-Mei hingga Oktober, pada bulan tersebut angin bergerak dari benua Australia menuju Asia yang dapat membangkitkan *upwelling*, karena membawa

massa air yang dingin, sehingga meningkatkan nutrisi di daerah Perairan Selatan Pulau Jawa (Susanto dan Gordon, 2001; Reddy dan Salvekar, 2008). Menurut Hendiarti *et al.* (2004) menyatakan bahwa potensi *upwelling* di Selatan Jawa hingga Sumbawa terjadi pada saat muson Tenggara yaitu pada Bulan Mei hingga Oktober.

Perairan Selatan Jawa bukan satu-satunya yang memiliki lokasi *upwelling*, terdapat tujuh lokasi *upwelling* di Perairan Indonesia, sebagian besar terletak di *Wallace area*, yaitu suatu kawasan perairan yang dibatasi oleh garis Wallace di bagian Barat dan garis Lydekker di bagian Timur. Daerah ini dikenal memiliki keanekaragaman jenis dan kelimpahan biota yang tinggi, beberapa jenis diantaranya bersifat unik dan endemik yang merupakan sumbangan besar bagi keanekaragaman biota global. Selain Selat Makasar dan Laut Banda, *upwelling* juga terjadi di Laut Seram, Laut Maluku, Laut Arafuru, Laut Natuna dan Perairan Utara dan Timur Papua. Perairan Selatan Jawa sampai Sumbawa merupakan satu-satunya lokasi *upwelling* yang berada di luar kawasan *Wallace area*. Transport massa air di permukaan meninggalkan perairan tersebut, sehingga mengakibatkan terjadinya kekosongan massa air dan kemudian terjadi *upwelling* yang membuat konsentrasi klorofil-a menjadi lebih tinggi dan nilai suhu permukaan laut menjadi rendah daripada daerah sekitarnya.

1.2.1.3 Tipe *Upwelling*

Ada 5 tipe *upwelling* yaitu *coastal upwelling*, *large-scale wind-driven upwelling in the ocean interior*, *upwelling associated with eddies*, *topographically-associated upwelling*, dan *broad-diffusive upwelling in the ocean interior*.

1. *Coastal Upwelling*

Coastal upwelling adalah tipe yang paling banyak memiliki hubungan dengan aktivitas manusia dan memberikan banyak pengaruh terhadap produktivitas perikanan di dunia, seperti ikan pelagis kecil (sardines, anchovies, dll.). Laut dalam kaya akan nutrisi termasuk nitrate and phosphate, yang merupakan hasil dari dekomposisi materi organik (dead/detrital plankton) dari permukaan laut.

Ketika sampai ke permukaan, nutrien tersebut digunakan oleh fitoplankton, beserta CO₂ terlarut dan energi cahaya matahari untuk menghasilkan bahan organik melalui proses fotosintesis. Daerah *upwelling* memiliki produktivitas yang tinggi dibanding dengan wilayah lainnya. Hal ini berkaitan dengan rantai makanan, karena fitoplankton berada pada level dasar pada rantai makanan di laut. Adapun rantai makanan di laut adalah sebagai berikut:

Phytoplankton -> Zooplankton -> Predatory zooplankton -> Filter feeders -> Predatory fish

Rantai makanan tersebut menunjukkan bahwa setiap spesies adalah spesies kunci dalam zona *upwelling*. Bagian kunci dari oseanografi fisika yang menimbulkan *coastal upwelling* adalah efek Coriolis yang didorong oleh *wind-driven* yang derung diarahkan ke sebelah kanan di Belahan Bumi Utara dan ke arah kiri di Belahan Bumi Selatan.

2. *Equatorial Upwelling*

Fenomena *upwelling* yang sama terjadi di ekuator. Apapun lokasinya ini merupakan hasil dari divergensi, massa air yang nutrien terangkat dari lapisan bawah dan hasilnya ditandai oleh fakta bahwa pada daerah ekuator di pasifik memiliki konsentrasi fitoplankton yang tinggi.

3. *Southern Ocean Upwelling*

Upwelling dalam skala besar juga terjadi di *Southern Ocean*. Di sana, dipengaruhi angin yang kuat dari Barat dan Timur yang bertiup mengelilingi Antartika, yang mengakibatkan perubahan yang signifikan terhadap aliran massa air yang menuju ke Utara. Pada dasarnya tipe ini masih termasuk ke dalam *coastal upwelling*, ketika tidak ada daratan antara Amerika Selatan dengan Semenanjung Antartika, sejumlah massa air terangkat dari lapisan dalam. Dalam banyak pengamatan dan sintesis model numerik, *upwelling* di samudra bagian Selatan merupakan sarana utama untuk mengaduk material lapisan dalam ke permukaan. Beberapa model sirkulasi laut menunjukkan bahwa dalam skala luas *upwelling* terjadi di daerah tropis, karena didorong

tekanan air mengalir berkumpul ke arah lintang rendah yang terdifusi dengan lapisan hangat dari permukaan.

4. *Tropical Cyclone Upwelling*

Upwelling juga bisa disebabkan oleh tropical cyclone yang melanda suatu wilayah laut, biasanya apabila bertiup dengan kecepatannya kurang dari 5 mph (8 km/h).

5. *Artificial Upwelling*

Upwelling tipe jenis ini dihasilkan oleh perangkat yang menggunakan energi gelombang laut atau konversi energi panas laut untuk memompa air ke permukaan. Perangkat seperti telah dilakukan untuk memproduksi plankton.

Menurut Dahuri *et al.* (1996) dalam penelitiannya, *upwelling* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Jenis tetap (*stationary type*), yang terjadi sepanjang tahun meskipun intensitasnya dapat berubah-ubah. Tipe ini terjadi merupakan tipe *upwelling* yang terjadi di lepas pantai Peru.
2. Jenis berkala (*periodic type*) yang terjadi hanya selama satu musim saja. Selama air naik, massa air lapisan permukaan meninggalkan lokasi air naik, dan massa air yang lebih berat dari lapisan bawah bergerak ke atas mencapai permukaan, seperti yang terjadi di Selatan Jawa.
3. Jenis silih berganti (*alternating type*) yang terjadi secara bergantian dengan penenggelaman massa air (*sinking*). Dalam satu musim, air yang ringan di lapisan permukaan bergerak keluar dari lokasi terjadinya air naik dan air lebih berat di lapisan bawah bergerak ke atas kemudian tenggelam, seperti yang terjadi di laut Banda dan Arafura.

1.2.1.4 Faktor terjadinya *upwelling*

Kejadian *upwelling* merupakan salah satu fenomena di dalam dunia kelautan yang sangat kompleks. Berbagai parameter telah digunakan oleh para peneliti oseanografi untuk mendeteksi lokasi *upwelling* di perairan Indonesia. Parameter yang pertama kali digunakan oleh Wyrтки (1958) dan juga Veen (1960) untuk mendeteksi

terjadinya upwelling di Laut Banda dan Selat Makassar adalah dengan menggunakan data suhu dan salinitas air.

Dalam perkembangan selanjutnya (sejak Tahun 1969) peneliti dari Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI memperluas parameter yang digunakan, tidak hanya terbatas pada suhu dan salinitas, tetapi juga pengukuran aspek kimia air (kadar fosfat, nitrat, dan silikat), aspek biologi (kadar klorofil, kelimpahan fito-dan zooplankton), serta arus Ekman, gaya Coriolis.

Dekade terakhir telah digunakan citra satelit Topex/Poseidon, Aqua/ Terra MODIS, NOAA AVHRR ERS-1, dan ERS-2 oleh BBPT. Alat ini memiliki keterbatasan dalam memberikan informasi spasial di bawah permukaan laut yang hanya dapat diperoleh melalui observasi langsung. Penelitian mengenai *upwelling* yang telah dilakukan perlu dikembangkan lebih lanjut dengan memadukan data parameter kimia, plankton maupun biologi perikanan agar diperoleh pemahaman tentang proses yang menyebabkan terjadinya *upwelling*.

Beberapa parameter yang digunakan dalam penentuan *upwelling*:

1. Suhu Permukaan Laut

Suhu perairan merupakan suatu faktor lingkungan yang paling mudah dipelajari dari faktor lainnya, sebab suhu merupakan suatu petunjuk yang berguna dari perubahan kondisi lingkungan. Suhu air laut, terutama lapisan permukaan/ atas ditentukan oleh intensitas penyinaran matahari yang berubah tiap waktu. Perubahan suhu ini dapat terjadi secara, harian, musiman, tahunan, dan jangka panjang (Sidjabat, 1978). Panjang gelombang yang digunakan untuk merekam informasi suhu permukaan laut yaitu pada rentang 3-13 μm atau pada zona inframerah termal. Pemilihan panjang gelombang ini didasarkan pada sifat iradiansi spektralnya. Rentang panjang gelombang ini juga memiliki kemampuan untuk menembus permukaan laut yang berbeda-beda.

Proses penerimaan informasi suhu oleh sensor sangat dipengaruhi oleh transmisi suhu dari permukaan laut yang melewati lapisan atmosfer, oleh sebab itu proses yang terjadi di lingkungan suhu tersebut bertransmisi mempengaruhi informasi suhu yang direkam oleh sensor. Nilai radiansi yang diterima oleh

sensor merupakan gabungan dari nilai radiansi pancaran permukaan dan radiansi atmosfer, besaran nilainya tergantung dari panjang gelombang yang digunakan, kelembapan atmosfer, dan kandungan aerosol (Martin, 2004).

Menurut Laevastu dan Haves (1981) dalam Realino *et al.* (2005), umumnya suhu digunakan sebagai indikator untuk menentukan perubahan ekologi. Hal ini tidak hanya menyangkut suhu dan daerah fluktuasinya, akan tetapi juga menyangkut gradien. Secara alami suhu air permukaan merupakan lapisan hangat karena mendapat radiasi matahari pada siang hari. Pengaruh angin di lapisan atas sampai kedalaman air 50-70 m terjadi pengadukan, hingga di lapisan tersebut mempunyai suhu yang homogen pada kisaran $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Oleh sebab itu lapisan teratas ini sering pula disebut lapisan *homogen*. Adanya pengaruh arus dan pasang surut, lapisan ini bisa menjadi lebih tebal lagi. Di perairan dangkal lapisan homogen ini sampai ke dasar (Reddy, 1993).

Menurut Ilahude (1999) berdasarkan lapisan kedalaman, penyebaran suhu di lapisan bawah paras laut (*subsurface layer*) menunjukkan adanya pelapisan yang terdiri atas:

a. Lapisan homogen

Pada daerah tropis, pengadukan ini dapat mencapai kedalaman 50-100 m dengan suhu berkisar $26-30^{\circ}\text{C}$ dan gradient tidak lebih dari $0,03^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Lapisan ini sangat dipengaruhi oleh musim dan letak geografis. Pada Musim Timur, lapisan ini dapat mencapai 30-40 m dan bertambah dalam pada saat Musim Barat, yaitu mencapai 70-90 m, sehingga mempengaruhi sirkulasi vertikal dari perairan.

b. Lapisan termoklin

Lapisan termoklin dapat dibagi menjadi dua lapisan yaitu lapisan termoklin atas (*main thermocline*) dan termoklin bawah (*secondary thermocline*). Suhu pada lapisan termoklin atas lebih cepat menurun dibandingkan dengan lapisan termoklin bawah, yaitu 27°C pada 100 m menjadi 8°C pada kedalaman 300 m atau rata-rata permukaan suhu dapat

mencapai $9,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, sedangkan pada termoklin bawah suhu masih terus turun dari 8°C pada 300 m menjadi 4°C pada kedalaman 600 m atau rata-rata penurunan mencapai $1,3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

c. Lapisan dalam

Pada lapisan ini suhu turun menjadi sangat lambat dengan gradient suhu hanya mencapai $0,05^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, lapisan ini dapat mencapai kedalaman 2500 m. Pada daerah tropis kisaran suhu di lapisan ini antara $2-4^{\circ}\text{C}$.

d. Lapisan dasar

Di lapisan ini suhu biasanya tak berubah lagi hingga ke dasar perairan. Pada samudera-samudera dengan kedalaman 3000-5000 m.

Suhu perairan nusantara umumnya berkisar antara $28-38^{\circ}\text{C}$. Suhu dekat pantai biasanya sedikit lebih tinggi dibandingkan lepas pantai (Nontji, 1987). Akibat dipengaruhi angin musim, maka sebaran suhu permukaan lautnya pun mengikuti perubahan musim. Saat Musim Barat (Desember-Februari), suhu permukaan laut di kawasan Barat Indonesia pada umumnya relatif lebih rendah daripada saat Musim Timur (Juni-Agustus) (Dahuri, 2001). Suhu suatu perairan dipengaruhi oleh radiasi matahari, posisi matahari, letak geografis, musim, kondisi awan, serta proses interaksi antara air dan udara, seperti alih panas (*heat*), penguapan, dan hembusan angin (Dahuri *et al.*, 2004). Suhu air permukaan biasanya bervariasi menurut musim walaupun perbedaannya cukup kecil.

Suhu dapat mempengaruhi fotosintesis di laut baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh secara langsung yakni suhu berperan untuk mengontrol reaksi kimia enzimatik dalam proses fotosintesis. Kenaikan suhu dapat menaikkan laju maksimal fotosintesis, sedangkan pengaruhnya tidak langsung yakni dalam merubah struktur hidrologi kolom perairan yang dapat mempengaruhi distribusi fitoplankton (Tomascik *et al.* 1977).

2. Klorofil-a

Dalam sistem rantai makanan di laut, fitoplankton dikenal sebagai produsen utama. Fitoplankton merupakan organisme tumbuhan mikroskopik yang hidup melayang, mengapung di dalam air, dan memiliki kemampuan gerak terbatas

(Soetrisno, 2002) dan juga sering disebut sebagai plankton nabati yang merupakan algae mikroskopik, yang mengandung klorofil. Klorofil bukan merupakan molekul tunggal, melainkan terdiri dari klorofil-a, klorofil-b, klorofil-c, dan klorofil-d. Klorofil-a digunakan sebagai ukuran konsentrasi klorofil pada umumnya. Klorofil-d hanya ditemukan pada *marine red algae*, tetapi klorofil-b dan c banyak ditemui di perairan tawar.

Klorofil-a merupakan pigmen terpenting, karena merupakan pigmen yang mampu melakukan fotosintesis dan terdapat pada seluruh jenis fitoplankton. Proses fotosintesis yang berlangsung di perairan akan mempengaruhi produktifitas perairan tersebut. Kadar klorofil-a dalam suatu volume air tertentu merupakan ukuran bagi biomassa tumbuhan yang terdapat pada perairan tersebut (Suksmoso, 2004).

Konsentrasi klorofil-a umumnya lebih tinggi di perairan pantai dan pesisir, karena dipengaruhi oleh limpasan air sungai. Di perairan lepas pantai konsentrasi klorofil-a akan lebih rendah, karena tidak adanya suplai nutrient dari daratan secara langsung, tetapi dengan adanya proses *upwelling* dapat mengakibatkan tingginya konsentrasi klorofil-a di sekitar perairan tersebut (Kunarso, (2005) dalam Afyanti, (2011)).

Keberadaan klorofil-a sangat ditentukan oleh intensitas cahaya dan kondisi nutrien. Perairan laut tropis pada umumnya memiliki kandungan klorofil-a rendah, karena keterbatasan nutrien dan kuatnya stratifikasi kolom air. Stratifikasi kolom air disebabkan oleh pemanasan permukaan perairan yang berlangsung hampir sepanjang tahun. Berdasarkan pola persebaran klorofil-a secara musiman maupun spasial, di beberapa bagian perairan lepas pantai dijumpai konsentrasinya yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan, karena terjadinya kelimpahan nutrien pada lapisan permukaan perairan melalui berbagai proses dinamika massa air, di antaranya *upwelling*. Konsentrasi klorofil-a di permukaan perairan dikelompokkan ke dalam tiga kategori yaitu rendah, sedang dan tinggi dengan kandungan klorofil-a secara berturut-turut $<0,07$; $0,07-0,14$ dan $>0,14$ mg/m^3 (Hutabarat dan Evans, 1985 dalam Brotowidjono et al., 1995).

Laju produktivitas primer di laut juga dipengaruhi oleh sistem angin muson. Dari sebaran konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia diperoleh bahwa konsentrasi klorofil-a tertinggi dijumpai pada Angin Muson Timur, pada saat tersebut terjadi *upwelling* di beberapa perairan terutama wilayah perairan Timur (Pratama, I., 2014). Keadaan ini berbalik pada indikator, dalam hal ini klorofil-a terendah dijumpai pada muson barat.

3. Salinitas

Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas juga dapat mengacu pada kandungan garam dalam tanah. Kandungan garam pada sebagian besar danau, sungai, dan saluran air alami sangat kecil, sehingga air di tempat ini dikategorikan sebagai air tawar. Kandungan garam sebenarnya pada air ini, secara definisi, kurang dari 0,05%. Jika kandungan garam lebih dari itu, air dikategorikan sebagai air payau atau menjadi *saline* bila konsentrasinya 3 sampai 5%. Jika kandungan garam nilai tersebut $> 5\%$ maka, disebut *brine*. Sebaran salinitas di laut dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan, aliran sungai. Perairan estuaria dapat mempunyai struktur salinitas yang kompleks, karena selain merupakan pertemuan antara air tawar yang relatif lebih ringan dan air laut yang lebih berat, juga pengadukan air sangat menentukan. Beberapa kemungkinan terjadinya salinitas. Pertama adalah perairan dengan stratifikasi salinitas yang sangat kuat, terjadi di mana air tawar merupakan lapisan yang tipis di permukaan, sedangkan di bawahnya terdapat air laut. Ini bisa ditemukan di depan muara sungai yang alirannya kuat, sedangkan pengaruh pasang-surut kecil. Nelayan atau pelaut di Pantai Sumatera yang dalam keadaan darurat kehabisan air tawar kadang-kadang masih dapat menyiduk air tawar di lapisan tipis teratas dengan menggunakan piring, bila berada di depan muara sungai besar.

Kedua, adalah perairan dengan stratifikasi sedang. Hal ini terjadi, karena adanya gerak pasang-surut yang menyebabkan terjadinya pengadukan pada kolom air hingga terjadi pertukaran air secara vertikal. Di permukaan air cenderung mengalir keluar, sedangkan air laut merayap masuk dari bawah. Antara keduanya

terjadi pencampuran. Akibatnya garis isohalin (garis yang menghubungkan salinitas yang sama) mempunyai arah yang condong ke luar. Keadaan semacam ini juga bisa dijumpai di beberapa perairan estuaria di Sumatera.

Di perairan lepas pantai yang dalam, angin dapat pula melakukan pengadukan di lapisan atas hingga membentuk lapisan homogen kira-kira setebal 50-70 m atau lebih bergantung intensitas pengadukan. Di perairan dangkal, lapisan homogen ini berlanjut sampai ke dasar. Di lapisan dengan salinitas homogen, suhu juga biasanya homogen. Baru di bawahnya terdapat lapisan pegat (discontinuity layer) dengan gradasi densitas yang tajam yang menghambat pencampuran antara lapisan di atas dan di bawahnya.

Di bawah lapisan homogen, sebaran salinitas tidak banyak lagi ditentukan oleh angin tetapi oleh pola sirkulasi massa air di lapisan massa air di lapisan dalam. Gerakan massa air ini bisa ditelusuri antara lain dengan mengakji sifat-sifat sebaran salinitas maksimum dan salinitas minimum dengan metode inti (core layer method).

Salinitas di daerah subpolar (yaitu daerah di atas daerah subtropis hingga mendekati kutub) rendah di permukaan dan bertambah secara tetap (monotonik) terhadap kedalaman. Di daerah subtropis (atau semi tropis, yaitu daerah antara $23,5^{\circ} - 40^{\circ}\text{LU}$ atau $23,5^{\circ} - 40^{\circ}\text{LS}$), salinitas di permukaan lebih besar daripada di kedalaman akibat besarnya evaporasi (penguapan). Di kedalaman sekitar 500 sampai 1000 meter harga salinitasnya rendah dan kembali bertambah secara monotonik terhadap kedalaman. Sementara itu, di daerah tropis salinitas di permukaan lebih rendah daripada di kedalaman akibatnya tingginya presipitasi (curah hujan).

4. Arus Ekman

Transport massa air dapat terjadi baik di sekitar pantai maupun di laut terbuka. Penggerak utama massa air adalah angin. Angin yang berhembus secara terus-menerus dapat menjadi energi penggerak massa air permukaan. Energi angin yang merupakan penyebab utama, ditransfer ke permukaan air dalam bentuk

Gesekan Reynold. Pada lapisan ekman, transport massa air dipengaruhi oleh gaya coriolis. Pergerakan massa air di Belahan Utara dibelokkan ke kanan dan di Belahan Bumi Selatan pergerakan massa air dibelokkan ke kiri dari arah angin. Pergerakan akibat gaya coriolis disebut transport ekman. Transport ekman dapat menjadi penyebab munculnya upwelling. Contoh ekman transport yang menyebabkan upwelling terjadi di sebagian besar Pantai barat benua atau pantai timur samudera. Pada daerah ini betiup terus-menerus angin pasat (Tradewind) dari daerah lintang sedang baik di utara maupun Selatan bergerak menuju ekuator. Angin pasat ini merupakan penggerak massa air di Pantai Barat benua atau Timur samudera. Angin Pasat Timur Laut (*northeast tradewind*) di Belahan Bumi Utara dan Angin Pasat Tenggara (*southeast tradewind*) di Belahan Bumi Selatan menjadikan transport ekman (Q) menjauhi pantai. Kekosongan di pantai diisi massa air dari lapisan dalam, sehingga terbentuk upwelling. *Upwelling* akibat transport ekman di pesisir pantai terjadi di pantai Peru, Pantai Oregon dan California di Amerika dan Pantai Senegal Afrika (Paena, 2002).

Pada daerah *upwelling* yang terjadi, karena adanya *Ekman pump* atau ekman transport, angin bertiup sejajar atau membentuk sudut yang kecil dengan garis pantai dan gaya coriolis, sebagai akibat pengaruh rotasi bumi, massa air bergerak menjauhi pantai. Di belahan bumi utara pembelokan mengarah kekanan dari arah arus, sedangkan pada Belahan Bumi Selatan pembelokan mengarah ke kiri dari arah arus, karena air pada permukaan bergerak menjauhi pantai maka air dingin yang ada dibawahnya bergerak naik mengisi kekosongan pada daerah permukaan (arahnya dipengaruhi oleh gesekan dasar) maka terjadilah upwelling (Bowden, 1983; Stewart, 2002; Pond dan Pichard, 1983; Mann dan Lazier, 1993). Stewart, 2002; Pond dan Pichard, 1983; Mann dan Lazier, 1993).

5. Gaya Coriolis

Gaya coriolis, yaitu gaya yang membelokkan arah arus yang berasal dari tenaga rotasi bumi. Pembelokan itu akan mengarah kekanan di Belahan Bumi Utara dan mengarah kekiri di Belahan Bumi Selatan. Gaya ini mengakibatkan adanya aliran yang searah jarum jam (kekanan) pada Belahan Bumi Utara dan berlawanan dengan arah jarum jam di Belahan Bumi Selatan. Gaya Coriolis mempengaruhi

aliran massa air, gaya ini akan membelokkan arah arus dari arah yang lurus. Gaya Coriolis juga yang menyebabkan timbulnya perubahan-perubahan arah arus yang kompleks susunannya yang terjadi sesuai dengan makin dalamnya kedalaman suatu perairan.

Pada umumnya tenaga angin yang diberikan pada lapisan permukaan air dapat membangkitkan timbulnya arus permukaan yang mempunyai kecepatan sekitar 2% dari kecepatan angin itu sendiri. Kecepatan arus ini akan berkurang cepat sesuai dengan makin bertambahnya kedalaman perairan dan akhirnya angin tidak berpengaruh sama sekali terhadap kecepatan arus pada kedalaman 200 m. Pada saat kecepatan arus berkurang, maka tingkat perubahan arah-arus yang disebabkan oleh gaya Coriolis akan meningkat. Hasilnya akan dihasilkan sedikit pembelokan dari arah arus yang relatif cepat di lapisan permukaan dan arah pembelokannya menjadi lebih besar pada aliran arus yang kecepatannya makin lambat dan mempunyai kedalaman makin bertambah besar. Akibatnya akan timbul suatu aliran arus, semakin dalam suatu perairan maka arus yang terjadi pada lapisan-lapisan perairan akan makin dibelokkan arahnya.

Hubungan ini dikenal sebagai Spiral Ekman. Selain berpengaruh terhadap pergerakan massa air, gaya coriolis juga berpengaruh terhadap gerakan angin yang dikenal dengan angin utama (Angin Timur, Barat, dan pasat). Angin-angin utama itu berhembus dalam suatu arah yang hampir tetap pada garis-garis lintang tertentu. Angin itu timbul akibat peredaran atmosfer dan rotasi bumi. Seandainya bumi tidak berotasi, angin akan bergerak lurus ke Utara atau Selatan.

Rotasi bumi menimbulkan gaya rotasi yang disebut gaya Coriolis yang gaya yang membelokkan arah angin utama Hukum Boys Ballot yang mengatakan “Angin siklon di Belahan Bumi Utara akan berputar berlawanan arah jarum jam, namun sebaliknya berputar searah jarum jam di Belahan Bumi Selatan”. Hal ini dikarenakan gerakan angin (relatif terhadap permukaan bumi) di belokkan oleh efek dari rotasi bumi. Semakin ke arah khatulistiwa, gaya coriolis makin mengecil.

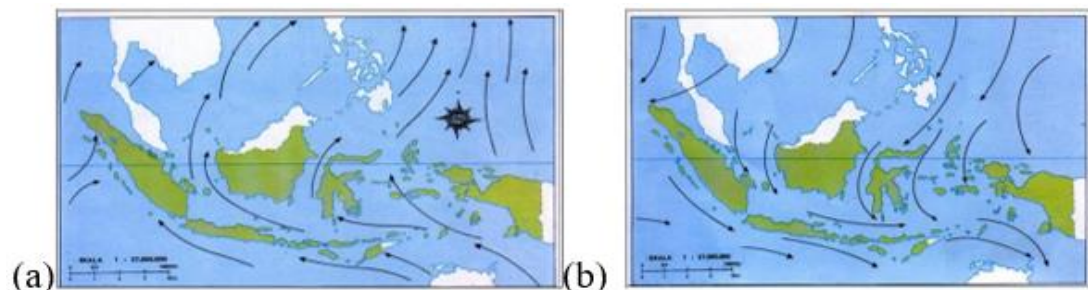
Gaya Coriolis dipengaruhi oleh posisi lintang suatu wilayah. Semakin kecil letak lintang suatu wilayah, maka gaya Coriolis semakin kecil pengaruhnya. Itulah

sebabnya angin siklon hampir tidak pernah terjadi di wilayah khatulistiwa. Semua hal ini bisa dirangkum sebagai hukum Buys Ballot:

1. Angin mengalir dari tempat yang bertekanan maksimum (dingin) ketempat yang bertekanan minimum (panas).
2. Pada Belahan Utara Bumi, udara/angin berkelok kekanan dan di Belahan Selatan berkelok ke kiri.
3. Pembelokan arah angin terjadi akibat adanya rotasi bumi dari Barat ke Timur dan bumi berbentuk bulat

1.2.1.5 Pola Angin dan Musim

Perairan Selatan Jawa sampai Laut Timur berada di antara daerah pembangkit angin muson, yaitu Benua Asia dan Australia. Mekanisme sirkulasi angin muson tersebut berdasarkan gradien tekanan yang memotong khatulistiwa antara Asia dan Australia. Berdasarkan pola arah angin muson, Wyrтки (1961) membagi musim di Indonesia menjadi tiga golongan, yaitu Musim Timur, Barat, dan Musim Peralihan



Sumber : Hasil Pengolahan, 2017

Gambar 1.2 Pola Angin Muson (a) Muson Barat (b) Muson Timur

1.2.1.6 Data Penginderaan jauh untuk deteksi upwelling

Menurut Sutanto (1992), penginderaan jauh merupakan ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah, atau gejala dengan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap objek, daerah, atau gejala yang sedang dikaji. Dalam banyak hal, penginderaan jauh dapat dianggap sebagai proses membaca. Menggunakan berbagai macam sensor sebagai pengumpul data untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah, atau fenomena yang diselidiki. Proses pengumpulan data dapat digambarkan dengan berbagai

bentuk, termasuk variasi dalam distribusi gelombang elektromagnet, gelombang akustik, dan beberap lainnya (Lillesand *et al.*, 1979).

Tabel 1.2 Level data produk data Aqua MODIS

level	Resolusi spasial	Deskripsi
Level 0	250,500, 1000m	Data mentah (<i>raw radiance counts</i>) dalam bentuk nilai digital, tanpa geokoreksi
Level 1A	250,500, 1000m	Data berupa nilai radianasi (diturunkan dari level 0), tanpa geokoreksi
Level 1B	250,500, 1000m	Data berupa nilai radianasi yang sudah tergeolokasi
Level 2	1 km	Data yang mengandung nilai geofisik dari suatu obyek bumi. Telah melalui proses kalibrasi sensor, koreksi atmosfer, dan algoritma.
Level 3	4,63 km	Data komposit dari level 2
Level 4	4,9 km 39 km 1 ⁰ grid global	Produk data produktifitas primer perairan global

Sumber: Brando *et al.*, 2006

Penentuan lokasi *upwelling* dapat diketahui melalui data penginderaan jauh dengan menggunakan beberapa parameter. Satelit Aqua MODIS digunakan dalam penelitian ini, karena mempunyai daerah perekaman yang cukup luas dan dapat dianalisa secara berkala. Satelit Aqua MODIS mempunyai beberapa level yang mempunyai kegunaan masing-masing seperti pada Tabel 1.1. Penelitian ini menggunakan level 3, dalam hal ini level 3 merupakan gabungan dari level 2 atau data yang sudah diekstraksi nilai dari parameter yang diinginkan.

Tabel 1.3 Saluran Spektral Aqua MODIS

<i>Primary Use</i>	<i>Band</i>	<i>Bandwidth</i>	<i>Spectral Radiance</i>	<i>Required SNR</i>
<i>Land/Cloud/Aerosols Boundaries</i>	1	620 - 670	21.8	128
	2	841 - 876	24.7	201
<i>Land/Cloud/Aerosols Properties</i>	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74

	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
<i>Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry</i>	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483 - 493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
	16	862 - 877	6.2	516
<i>Atmospheric Water Vapor</i>	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
	19	915 - 965	15.0	250

Lanjutan Tabel 1.2

<i>Surface/Cloud Temperature</i>	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)	0.07
<i>Atmospheric Temperature</i>	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)	0.25
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25

<i>Cirrus Clouds Water Vapor</i>	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
<i>Cloud Properties</i>	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
<i>Ozone</i>	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
<i>Surface/Cloud Temperature</i>	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)	0.05
<i>Cloud Top Altitude</i>	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35

Sumber : <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>

Tabel 1.4 Karakteristik orbit satelit Aqua MODIS

<i>Equatorial Crossing</i>	1:30 p.m., <i>ascending node</i>
<i>Inclination</i>	98 ⁰
<i>Altitude</i>	705 km
<i>Period</i>	99 menit
<i>Semi-major axis</i>	7085 km
<i>Eccentricity</i>	0.0015
<i>Orbit</i>	<i>Sun synchronous, near-polar</i>
Spatial Resolution	250 m (bands 1-2) 500 m (bands 3-7) 1000 m (8-36)
<i>Temporal Resolution</i>	<i>1/24 hours</i>

(Sumber: Lillesand dan Kiefer, 1987)

Berdasarkan **Tabel 1.2** menunjukkan saluran yang digunakan dalam penelitian ini hanya saluran 10 dan 11 untuk deteksi klorofil-a dan saluran 20,21,22 untuk deteksi suhu permukaan laut. Citra satelit Aqua MODIS merupakan salah satu satelit lingkungan yang dimiliki oleh NASA, satelit ini diluncurkan pada 4 Mei 2002 di *Vandenberg Air Force Base*, California, dengan menggunakan Boeing Delta II rocket. Sesuai dengan namanya yang diambil dari bahasa latin, *Aqua* yang berarti air ditujukan untuk mengamati proses yang terjadi akibat interaksi antara atmosfer, lautan dan daratan. Instrumen *Aqua* mampu mendapatkan data mengenai profil temperatur dan kelembaban atmosfer, awan, penguapan dan *relative balance; terrestrial snow and sea ice*, suhu permukaan laut dan produktivitas perairan; kelembaban tanah; dan memanfaatkannya dalam memprediksi cuaca. Satelit Aqua memberikan kontribusi yang sangat besar dalam memonitoring dinamika daratan dan lautan.

1.2.2 Penelitian Sebelumnya

Dwi Susanto Tahun 2001 meneliti tentang *upwelling* di sepanjang pantai Jawa hingga Sumatera dan berkaitan dengan fenomena ENSO. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi karakteristik *upwelling* pada Perairan Selatan Jawa sampai Sumatera. Analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif yang menjelaskan hubungan perubahan iklim dengan fenomena *upwelling*. Hasil dalam penelitian ini yaitu Musim Timur dan ENSO menjadi faktor menjadi faktor yang mempengaruhi *upwelling*. Pada kejadian normal, *upwelling* terjadi antara Bulan Juni – Oktober.

Kunarso Tahun 2005 meneliti tentang karakteristik *upwelling* di sepanjang Perairan Selatan NTT hingga Barat Sumatera. Tujuannya untuk mengidentifikasi karakteristik temporal, spasial, dan intensitas *upwelling* pada periode fenomena iklim yang berbeda. Data yang digunakan yaitu citra SeaWIFS level 3, data WOD (*World Ocean Database*), dan data angin dari BMKG. Metode dalam penelitian ini menggunakan analisis deskriptif yang menjelaskan hubungan *upwelling* berdasarkan perubahan iklim yang terjadi pada perairan tersebut. Hasil menunjukkan *upwelling* pada Musim Timur di Perairan Selatan NTT hingga Barat Sumatera bertipe periode. *Upwelling* pada tipe periode *El nino* mempunyai karakteristik lebih lama, lebih luas

secara spasialnya dan intensitasnya lebih kuat dibanding pada periode *La nina* dan normal.

Aji Putra Perdana Tahun 2006 melakukan penelitian tentang perbandingan citra NOAA-AVHRR, Aqua MODIS dan Data Argo Float untuk pemetaan suhu permukaan laut di Perairan Selatan Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara. Tujuan dari penelitian mengkaji suhu permukaan laut berdasarkan analisis deskriptif dengan cara membandingkan hasil pengukuran data Argo dengan hasil pengolahan data penginderaan jauh. Hasilnya yaitu pengolahan data citra MODIS lebih mendekati distribusi suhu permukaan laut dari data Argo, meskipun nilainya lebih relatif tinggi, sedangkan data NOAA memberikan hasil sebaran suhu permukaan laut lebih rendah dibandingkan data suhu permukaan laut dari data Argo.

Putri Kemili Tahun 2012 meneliti tentang pengaruh durasi dan intensitas *upwelling* berdasarkan anomali suhu permukaan laut terhadap variabilitas produktivitas primer di perairan Indonesia. Tujuannya yaitu mengkaji kekuatan dan durasi *upwelling* mempengaruhi tingkat produktivitas primer di beberapa perairan Indonesia. Sumber data yang digunakan adalah citra SeaWiFS dan *mixed layer depth* (MLD) dari *Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center* (FNMOC) pada periode Januari Tahun 2000 sampai Desember 2007. Metode yang digunakan untuk mengetahui produktivitas primer yaitu *Carbon-based Production Model* (CbPM) untuk menghasilkan produktivitas primer bersih NPP. Hasil penelitian ini yaitu durasi *upwelling* antara 2-4 bulan dengan penurunan temperatur $>2^{\circ}\text{C}$ di bawah rata-rata normal. Fenomena ENSO menyebabkan durasi dan intensitas *upwelling* meningkat.

Taufik Ali 2016 meneliti tentang penentuan lokasi *upwelling* di Perairan Selatan Jawa selama 2014-2016 atau selama kejadian ENSO berlangsung. Tujuannya yaitu menentukan variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a terhadap kejadian *upwelling*; mendeteksi pola distribusi *upwelling* di Perairan Selatan Jawa selama 2014-2016. Beberapa parameter untuk menentukan *upwelling* di antaranya: suhu permukaan laut, klorofil-a, arus geostropik, tinggi permukaan laut, dan angin. Metode yang digunakan analisis deskriptif yang menghubungkan beberapa indikator dengan kemunculan *upwelling*; dan analisis perbedaan lokasi *upwelling* saat tahun normal dan

tahun ENSO. Hasil penelitian ini yaitu saat terjadi *upwelling* terjadi penurunan suhu permukaan laut dan tingginya klorofil-a; kemunculan lokasi kejadian *upwelling* dimulai dari Selat Bali kemudian meluas sampai Selatan Jawa Barat dengan durasi yang berbeda saat tahun normal dan tahun ENSO.

Tabel 1.5 Ringkasan Penelitian Sebelumnya

Nama Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
R. Dwi Susanto, Arnold. L. Gordon, Quanan Zheng	<i>Upwelling along the coast of Java and Sumatera and its relation to ENSO (2001)</i>	Mengidentifikasi karakteristik upwelling pada perairan Selatan Jawa dan Sumatera	Analisi deskriptif yang menjelaskan hubungan perubahan iklim dengan kejadian <i>upwelling</i> di perairan tersebut	Musim Timur dan ENSO menjadi faktor yang mempengaruhi fenomena <i>upwelling</i> . Pada kejadian normal, bulan terjadinya <i>upwelling</i> antara bulan Juni - Oktober
Kunarso dkk	Karakteristik <i>Upwelling</i> di Sepanjang Perairan Selatan NTT – Barat Sumatera	Mengidentifikasi karakteristik temporal, spasial, dan intensitas <i>upwelling</i> pada tipe periode fenomena iklim yang berbeda	Analisis deskriptif yang menjelaskan hubungan tentang kejadian <i>upwelling</i> berdasarkan perubahan iklim yang terjadi.	<i>Upwelling</i> pada Musim Timur di Perairan Selatan NTT – Barat Sumatera bertipe periodic. <i>Upwelling</i> pada tipe periode <i>El nino</i> mempunyai karakteristik lebih lama, lebih luas distribusi spasialnya dan lebih kuat intensitasnya dibandingkan periode normal dan <i>La nina</i> .

Lanjutan Tabel 1.5

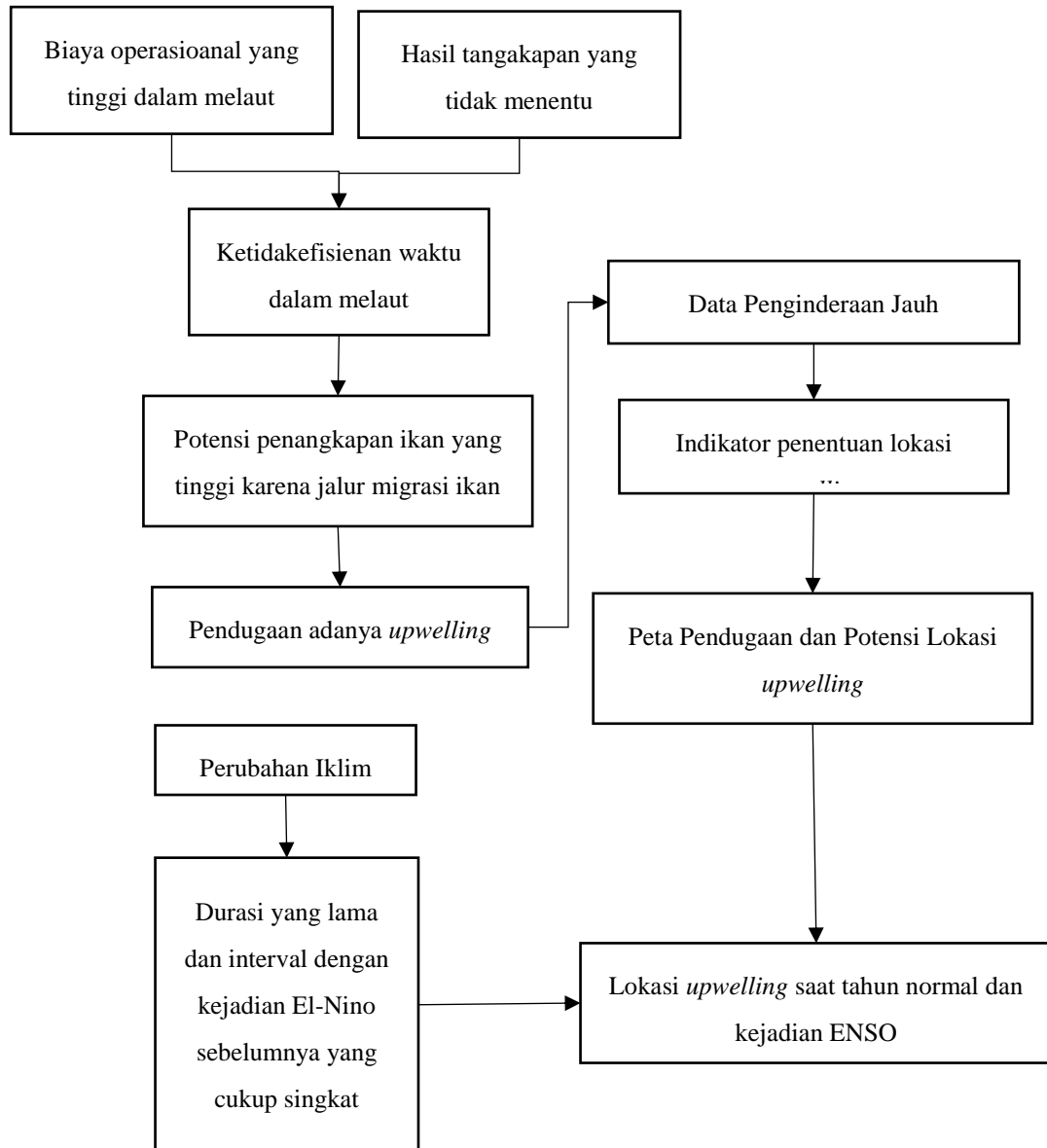
Perdanan A.P	Citra NOAA-AVHRR , Aqua MODIS dan Data Argofloat untuk Pemetaan Suhu Permukaan Laut di Perairan Selatan Pulau Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara	Meneliti suhu permukaan laut berdasarkan analisis data penginderaan jauh dan data Argofloat	Analisis deskriptif dengan cara membandingkan hasil pengukuran data Argo dengan citra penginderaan jauh	Pengolahan data citra Aqua MODIS lebih mendekati distribusi suhu permukaan laut dari data Argofloat, meskipun nilainya lebih relatif tinggi, sedangkan data citra NOAA-AVHRR memberikan hasil sebaran suhu permukaan laut yang lebih rendah dibanding dengan data suhu permukaan laut dari data Argofloat
Taufik Ali	Pendugaan Upwelling di Perairan Selatan Jawa Menggunakan Citra Satelit MODIS perekaman tanggal 2014-2016	Mengetahui distribusi dan waktu terjadinya fenomena <i>upwelling</i> pada Tahun 2014 - 2016 di sepanjang Perairan Selatan Jawa	Analisis deskriptif dengan membandingkan hubungan tentang kejadian <i>upwelling</i> dengan perubahan iklim yang terjadi di perairan tersebut	Peta sebaran daerah yang terdampak fenomena <i>upwelling</i> dan hasil analisis deskriptif.

1.2.3 Kerangka Penelitian

Periode-periode musim yang dialami oleh perairan di Indonesia memiliki ciri tertentu dengan faktor-faktor meteorologi yang terjadi, seperti presipitasi, evaporasi, arah dan kecepatan angin. Angin yang bertiup di atas perairan selain dapat menggerakkan arus secara horizontal, juga dapat menggerakkan arus secara vertikal. Hal tersebut terjadi pada saat angin mendorong air permukaan yang mengakibatkan kekosongan di bagian atas, sehingga dapat terjadi peristiwa *upwelling*. *Upwelling* mengakibatkan suhu di permukaan yang lebih dingin dan umumnya kaya akan ikan oleh banyaknya kandungan fitoplankton. Fitoplankton diindikasikan dengan konsentrasi klorofil-a yang tinggi. Beberapa faktor lain untuk pendeteksian *upwelling* yaitu Gaya Coriolis, Arus Ekkman, Topografi bawah laut, Arlindo. Penelitian ini hanya mengekstraksi nilai yang didapatkan dari citra yaitu suhu permukaan laut dan klorofil-a.

Selain dipengaruhi oleh musim di Perairan Selatan Jawa juga dipengaruhi oleh variabilitas ENSO (*El-Nino Southern Oscillation Index*). Berdasarkan penelitian, perairan di Indonesia yang dipengaruhi ENSO memiliki durasi *upwelling* yang lebih lama disertai konsentrasi klorofil-a yang tinggi dan suhu permukaan laut yang lebih rendah daripada perairan di sekitarnya. Pemetaan daerah *upwelling* dapat dianalisis secara multitemporal. Analisis multitemporal *upwelling* dilakukan untuk mengetahui lama dan durasi *upwelling* dalam jangka waktu tertentu sepanjang tahun berdasarkan musim. Penelitian ini akan menggunakan data temporal dengan waktu 2 tahun yaitu periode Januari 2014 – Maret 2016.

Pemanfaatan pemetaan temporal tersebut dapat mengidentifikasi perbedaan setiap tahunnya terhadap kejadian *upwelling* di perairan tersebut, sehingga dapat diketahui faktor kuat lemahnya yang mempengaruhi *upwelling*. Data citra Aqua MODIS digunakan untuk melakukan pengukuran suhu permukaan laut dan klorofil-a. Data citra ASCAT, WindSat, dan Pemodelan INDESO digunakan untuk ekstraksi data arus geostropik, angin, dan tinggi permukaan air laut.



Gambar 1.3 Kerangka Penelitian

1.3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini data yang digunakan ialah data sekunder yang berupa data penginderaan jauh citra Aqua MODIS, data Windsat, ASCAT), dan pemodelan INDES0. Penelitian ini tidak terdapat data primer, karena tidak adanya pengukuran langsung di lapangan dan biaya yang tinggi untuk melakukan survey lapangan.

1.3.1 Alat dan Bahan Penelitian

1.3.1.1 Alat

1. Laptop dengan spesifikasi ;
 - 1.1. Sistem Operasi Windows 10 64 bit
 - 1.2. Intel® Core™i3-3217U CPU@1.8GHz
 - 1.3. Ram 4GB, VGA Nvidia 2 GB
2. Software ENVI 5 sebagai pengolahan data citra Aqua MODIS level 3
3. Software ArcGIS 10.2 sebagai proses *layout* peta daerah penelitian
4. Software ODV 4 sebagai pengolahan data parameter kelautan
5. Software Seadas sebagai ekstraksi data SPL dan Klorofil-a dari citra Aqua MODIS level 3

1.3.1.2 Bahan

1. Citra Aqua MODIS level 3 perekamann Januari 2014 – Maret 2016.
(<http://www.modis.gsfc.nasa.gov>)
2. Data angin tanggal Januari 2014 – November 2016(www.ecmwf.int)
3. Data indeks ENSO dan IOD bulanan.
(www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
4. Data intensitas ENSO (ggweather.com/enso/oni.htm).

1.3.2 Tahap persiapan

- a. Studi pustaka mengenai referensi seperti jurnal penelitian, skripsi, tesis dan buku yang berkaitan dengan maksud dan tujuan penelitian
- b. Pengunduhan data spasial yaitu citra Aqua MODIS Level 3 dengan mengunduh pada <http://oceanocolor.gsfc.nasa.gov>

- c. Perolehan data arus geostropik dan data angin berupa data mentah

1.3.3 Tahap pengolahan data

1. Data MODIS level 3

Data MODIS level 3 bulanan, piksel-piksel telah dikonversi menjadi nilai suhu permukaan laut dan klorofil-a dalam cakupan global. Pengolahan data SPL dari satelit Aqua MODIS dilakukan dengan perangkat lunak Envi 5.1 SP 1 yang berbasis Windows dengan menggunakan algoritma SPL yaitu ATBD 25 terhadap level 1B data MODIS. Pengolahan nilai konsentrasi klorofil-a menggunakan algoritma OC3m terhadap level 1B data MODIS level 1A terdapat nilai *raw radiance* dari semua band. Data level 1A digunakan sebagai input proses untuk *geolocation*, *calibration*, dan *processing*. Level 1B dihasilkan dari proses kalibrasi sensor terhadap data level 1A. Data level 1B telah terkolaborasi terhadap *top of atsmosfer (TOA) radiance*. Level 2 diproses dari data level 1A dan 1B. Data level 2 terdiri dari nilai *geophysic* untuk setiap piksel. Nilai pada level 2 diperoleh dengan mengaplikasikan algoritma bio-optik terhadap level 1B, sedangkan level 3 merupakan akumulasi data untuk beberapa data level 2 dalam suatu periode waktu tertentu yaitu 8 hari, 1 bulan, atau 1 tahun.

Penerapan *cropping* dilakukan dalam penelitian untuk mendapatkan daerah kajian yang sesuai. Data konsentrasi klorofil-a masih terdapat bias daratan yang klorofilnya bernilai < 0 , sehingga perlu dilakukan normalisasi.

2. Data angin Muson dan Arus

Data sebaran angin dan arus yang didapatkan dari ECMWF (*Europian Centre Medium Range Wheather Forecast*) dan OSCAR (*Ocean Surface Current Analysis – Real Time*) memiliki format NetCDF. Data tersebut berisikan nilai u dan v yang selanjutnya dengan menggunakan persamaan berikut untuk emndaatkan nilai kecepatan dan arah angin.

$$\text{Kecepatan angin/arus } V_2 = V^2 = \sqrt{u^2 + v^2} \dots\dots\dots(1)$$

Arah angin/arus

$$\theta = 90 - \tan^{-1} \frac{v}{u}; u > 0, v > 0$$

$$\theta = 90 + \tan^{-1} \frac{v}{u}; u > 0, v > 0$$

$$\theta = 270 - \tan^{-1} \frac{v}{u}; u > 0, v > 0$$

$$\theta = 270 + \tan^{-1} \frac{v}{u}; u > 0, v > 0$$

Keterangan :

V = Kecepatan angin

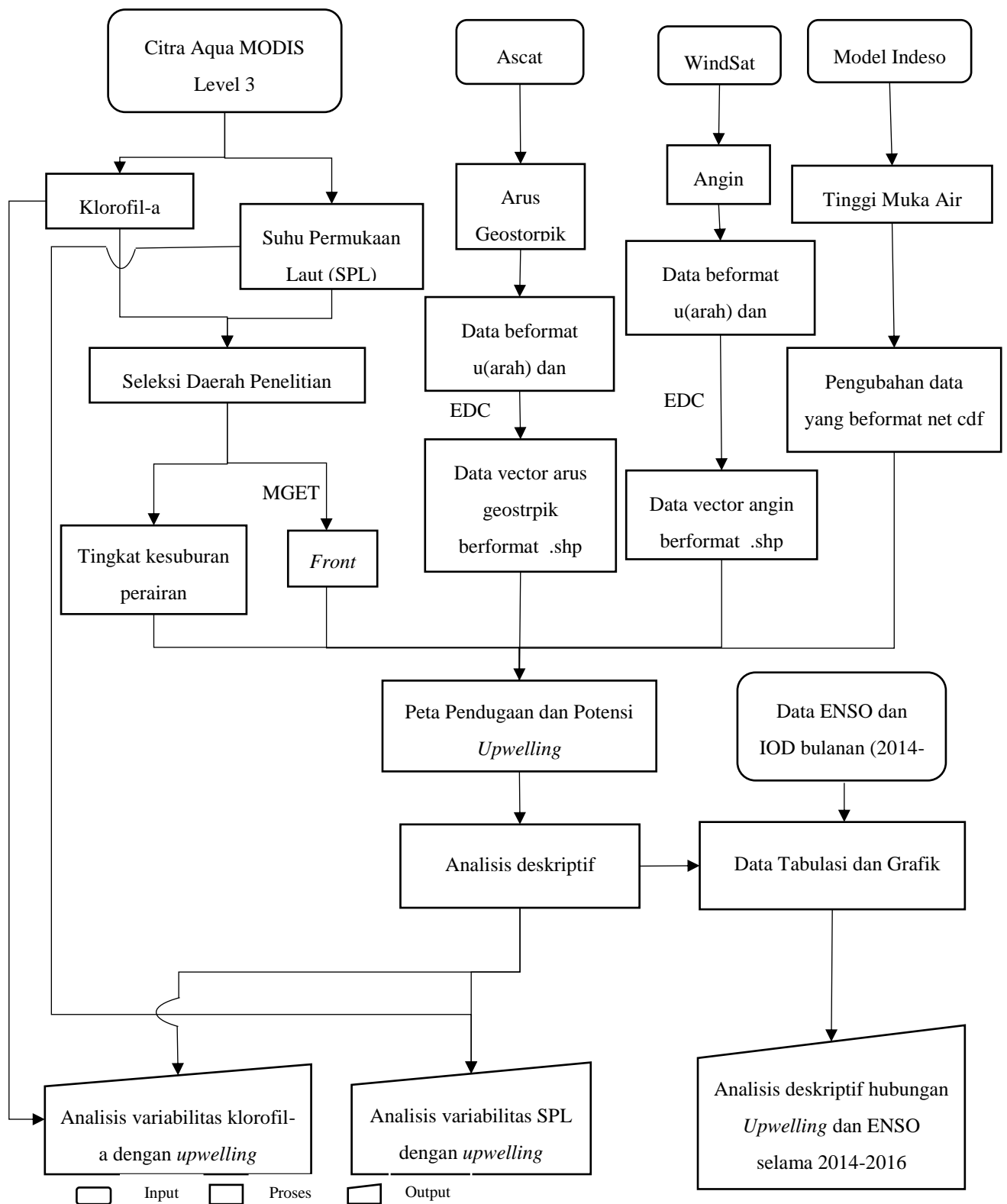
θ = Arah angin/ arus

1.3.4 Analisis Hasil

Penentuan variabilitas dari suhu dan klorofil-a dilakukan dengan teknik garis transek membujur dan melintang pada daerah *upwelling*. Transek melintang diambil pada koordinat 8⁰LS - 10⁰LS dan 102⁰BT – 127⁰BT. Transek membujur diambil tegak lurus dengan garis pantai sepanjang 1,5⁰(165 km). Hal ini disebabkan luas maksimum daerah *upwelling* adalah 165 km (Kunarso, 2011). Garis transek membujur diambil delapan bagian sepanjang Jawa Barat – NTT. Fungsi garis transek digunakan untuk menjawab tujuan pertama dan kedua, adanya garis tersebut dapat dianalisis secara temporal (Januari 2014 – Oktober 2016), sehingga diketahui perbedaan fluktuasi suhu permukaan laut dan klorofil-a per musim yang dideskripsikan per bulan. Hasil garis transek akan ditampilkan melalui analisa grafik yang ditampilkan per musim selama waktu penelitian.

Penentuan lokasi *upwelling* yang berpindah-pindah selama waktu penelitian, akan dianalisis melalui citra. Pengaruh kuat atau lemahnya *upwelling* menggunakan bantuan **Tabel 1.1**, yang digunakan Kunarso dalam penelitiannya. Penentuan kekuatan *upwelling* berdasarkan sebaran klorofil-a dan SPL pada perairan tersebut. Kemunculan *upwelling* nantinya akan menimbulkan suatu pola, sehingga dapat

dilakukan pendugaan terhadap kemunculan *upwelling* di Perairan Selatan Jawa. Adanya penentuan pola *upwelling* di Perairan Selatan Jawa menjawab tujuan ketiga dari penelitian ini.



Gambar 1.4 Diagram Alir Penelitian

1.4 Batasan Operasional

Angin musim (Monsoon) adalah gerakan angin yang bertiup ke arah tertentu

Argo Float merupakan instrumentasi yang bergerak mengikuti arus bawah laut untuk memperoleh data-data oseanografi di banyak lokasi sesuai dengan pergerakan arus bawah laut (Brodjonegoro, I.S. dan Pranowo, W.S., 2004 dalam Pratama,2014)

Arus permukaan adalah gerakan massa air permukaan yang ditimbulkan oleh kekuatan angin yang bertiup melintasi permukaan air (Olii, 2003)

APJ adalah arus yang mengalir dari arah barat Sumatera menuju Jawa bagian Timur (Wyrky, 1961)

Arlindo adalah arus yang mengalir dari Bali, Lombok, dan Sumatera (Wyrky, 1961)

Citra digital adalah citra yang diperoleh, disimpan, dimanipulasi, ditampilkan dengan basis logika biner (Danoerdono, 1996)

El Nino Southern Oscilation (ENSO) adalah peristiwa naiknya suhu di Samudra Pasifik yang menyebabkan perubahan pola angin dan curah hujan serta mempengaruhi perubahan osilasi atmosfer raksasa seluruh dunia (Anonim, 2010)

INDESO adalah pemodelan kondisi oseanografi dibuat oleh BPOL yang bekerjasama dengan APEC (salah satu organisasi kelautan di Prancis) berdasarkan data satelit Prancis

Klorofil-a berkaitan erat dengan produktifitas yang ditunjukkan dengan besarnya biomassa fitoplankton (Rosyadi, 2011)

MODIS adalah sensor utama pada dua wahanasatelit berbeda, yaitu *Earth Observing System* (EOS) Terra dan Aqua yang mengorbitsecara polar *sun-synchronous* dengan ketinggian 705 km (<http://modis.gsfc.nasa.gov>)

Netcdf adalah salah satu format file dalam beberapa software GIS salah satunya ArcGIS (<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>)

Penginderaan Jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah, atau gejala dengan cara menganalisa data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap objek, daerah, gejala yang dikai (Lillesand dan Kiefer, 1997)

Suhu adalah ukuran energi gerakan molekul (Paena, M., 2002)

Suhu permukaan laut adalah suhu lapisan bawah permukaan pada kedalaman beberapa meter, dapat meliputi tiga bagian yaitu suhu permukaan laut lapisan atas permukaan (*Skin Sea Surface Temperature*), suhu permukaan laut lapisan bawah, dan suhu campuran (Barton, 2001 dalam Perdana, 2006)

Resolusi spasial adalah ukuran terkecil dari suatu bentuk (feature) permukaan bumi yang bisa dibedakan dengan bentuk permukaan di sekitarnya atau yang ukurannya bisa diukur (Lillesand, 1985)

Resolusi spektral adalah dimensi dan jumlah daerah panjang gelombang yang dimiliki oleh sensor (Lillesand, 1985)

Upwelling adalah proses kenaikan massa air dari bawah permukaan yang membawa serta air yang suhunya lebih dingin, salinitas tinggi dan zat hara yang kaya akan nutrient ke permukaan (Nontji, 2001).

WPP 573 adalah salah satu daerah penangkapan ikan yang ditetapkan oleh KKP (Kementerian Kelautan dan Perikanan) (KKP, 2006)

Tinggi Permukaan Laut adalah ketinggian rata-rata permukaan laut yang dihitung atas dasar hasil pengamatan tiap jam (Ribas, 2011)