

PEMANFAATAN DATA PENGINDERAAN JAUH UNTUK MENDUKUNG PERENCANAAN OPERASI KEAMANAN LAUT DI LAUT ARAFURU (REMOTE SENSING APPLICATION FOR SUPPORTING MARITIME SECURITY OPERATIONS AT ARAFURU SEA)

Gathot Winarso*)¹ dan Eko Kurniawan)**

***)Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lapan**

****Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut TNI-AL**

¹e-mail: gathot_winarso@lapan.go.id

Diterima 17 April 2014; Disetujui 26 September 2014

ABSTRACT

Large sea area has been patrolled continually by Indonesia Navy need a lot of fleets to cover all Indonesian seawaters and also spend a huge of budget. Consequently, it is important to have smart strategic to optimise the fleet and to make efficient the logistic budget. The objective of this research is to apply remote sensing analysis to get sensitive timing operation on violation and security disturbance related to fishing activity. According to assumption that security threat might occur in the area where fishing activity is high that it will be concentrated in the high productivity area. The chlorophyll-a concentration estimated from satellite data MODIS level-2 were received from NASA United State of America. Daily data from 2008-2013 was calculated into monthly average to get monthly variation of chlorophyll-a concentration within a year during 5 years. The analysis was done in general area and smaller unit area to understand the different variation at smaller area. The variation of chlorophyll-a in smaller unit area will differ the plan timing in patrol activity specific for those area. The data analysis resulted that phytoplankton bloom indicated occurred to May- September every year. The month of phytoplankton bloom could be suggested area become a intensive patrol activity. In general, there are no different result from smaller unit area, only small shifting of starting of bloom and ending of bloom at different unit area.

Keyword: Remote sensing, Seawater safety, Chlorophyll-a

ABSTRAK

Operasi keamanan laut dilakukan secara terus menerus oleh TNI-AL. Untuk melaksanakan operasi tersebut TNI-AL membutuhkan armada yang banyak untuk menjangkau wilayah laut Indonesia yang luas dan membutuhkan logistik yang mahal. Oleh karena itu, diperlukan suatu strategi yang dapat mengoptimalkan jumlah armada dan melakukan efisiensi kebutuhan logistik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengaplikasikan data penginderaan jauh untuk mendapatkan informasi waktu operasi yang rawan terhadap pelanggaran dan ancaman keamanan terkait dengan aktifitas penangkapan ikan. Dengan dasar pemikiran bahwa gangguan keamanan akan banyak terjadi pada daerah dengan tingkat aktifitas penangkapan ikan yang tinggi dan akan terkonsentrasi pada daerah-daerah dengan kesuburan perairan yang tinggi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data konsentrasi klorofil-a yang diperoleh dari data MODIS level-2 dari NASA Amerika Serikat. Data harian selama 5 tahun dari 2008 sampai 2013 dijadikan rata-rata bulanan sehingga diperoleh variasi bulanan selama satu tahun dalam selang waktu 5 tahun. Analisa dilakukan pada seluruh area, dan juga pada unit-unit area yang lebih kecil untuk melihat apakah ada perbedaan pada unit-unit area yang lebih kecil tersebut. Perbedaan variasi pada unit terkecil bisa membedakan penentuan waktu operasi keamanan laut yang akan dilakukan pada area

tersebut. Hasil analisa menunjukkan bahwa terjadi kenaikan kandungan klorofil-a pada bulan Mei- September. Sehingga dapat disarankan untuk lebih mengintensifkan operasi kmla pada waktu-waktu tersebut. Secara umum tidak terjadi perbedaan pada unit-unit yang lebih kecil, tetapi hanya berupa perubahan awal dan akhir waktu tingginya konsentrasi klorofil-a pada area yang berbeda.

Kata kunci: *Penginderaan jauh, Keamanan laut, Klorofil-a*

1 PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, dengan wilayah lautan yang sangat luas dan mempunyai kekayaan dan keanekaragaman hayati laut terbesar di dunia. Dengan wilayah lautan yang sangat luas memungkinkan terjadinya gangguan keamanan di wilayah laut yang salah satu contohnya adalah aktifitas *illegal fishing*. Setiap tahun kapal asing yang mencuri hasil laut di perairan Indonesia mencapai 1.000 kapal yang tersebar di perairan Natuna, Arafuru, Laut Sulawesi dan daerah-daerah lainnya. Nilai kerugian Indonesia akibat *illegal fishing* di Laut Arafuru mencapai nilai sebesar Rp. 40 Triliun setiap tahunnya. Kerugian sejak tahun 2001 sampai 2013 mencapai nilai yang fantastis yaitu Rp. 520 Triliun (Rahardjo, 2013).

Pengertian *illegal fishing* menurut FAO (2001) adalah kegiatan penangkapan ikan yang dilakukan oleh suatu negara tertentu atau kapal asing di perairan yang bukan merupakan yuridiksinya tanpa izin dari negara yang memiliki yuridiksi atau kegiatan penangkapan ikan tersebut bertentangan dengan hukum dan peraturan negara itu. FAO (2001) juga telah mengeluarkan rencana aksi internasional untuk mencegah, menghalangi dan mengurangi penangkapan ikan ilegal, tidak dilaporkan dan tidak sesuai regulasi. Rencana aksi tersebut dilakukan baik melalui instrumen hukum seperti undang-undang dan peraturan pemerintah maupun aksi fisik berupa operasi pengamanan penegakan hukum. Tujuan utama rencana aksi ini adalah memberikan kewajiban kepada negara untuk melakukan pemantauan, kontrol

dan penjagaan *Monitoring, Control and Surveillance* (MCS). Salah satu kegiatan MCS dalam hal ini adalah operasi keamanan laut dengan melakukan penegakan hukum.

Operasi penegakan hukum secara umum sangat membutuhkan tidak hanya biaya tinggi tetapi juga dukungan armada yang memadai sesuai dengan luasnya laut yang harus dijaga. Oleh karena itu optimalisasi dan efisiensi logistik dalam operasi sangat diperlukan, terutama masalah ketersediaan armada dan bahan bakar sangat memegang peran penting dalam operasional unsur-unsur Kapal Republik Indonesia (KRI). Hal ini sangat berpengaruh terhadap jumlah waktu operasi, lama KRI di laut, dan kecepatan KRI terkait dengan daya jelajah. Operasi keamanan laut adalah upaya dan tindakan terencana yang diselenggarakan secara khusus untuk sasaran dan tujuan tertentu oleh masing-masing instansi yang berwewenang (opskmla mandiri) dan oleh 2 (dua) atau lebih instansi secara bersama (opskmla gabungan) dalam rangka penjagaan, pengawasan, pencegahan dan penindakan terhadap pelanggaran hukum dan keselamatan pelayaran serta pengamanan terhadap aktivitas masyarakat dan pemerintah di wilayah perairan Indonesia (Edy,2009).

Mengingat luasnya wilayah laut Indonesia dan untuk meniyasati keterbatasan armada dan dukungan logistik, maka diperlukan suatu teknik berbasis teknologi yang dapat meng-optimalisasi dan efisiensi dukungan yang ada. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh yang dapat memantau secara *synoptic*, pada area yang luas dan dapat

mengulang pengukuran dalam tempo tertentu serta dapat menjangkau daerah terpencil sekalipun. Dengan menggunakan citra satelit penginderaan jauh ini didapatkan data/informasi terkini yang kemudian diproses dan diolah menghasilkan data yang berupa informasi yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menyusun rencana operasi keamanan laut.

Salah satu informasi yang bisa diperoleh dari data penginderaan jauh adalah informasi konsentrasi klorofil-a. Klorofil-a merupakan salah satu pigmen yang paling dominan terdapat pada fitoplankton dan berperan dalam proses fotosintesis. Fitoplankton berperan sebagai *primary producer* atau penghasil awal dalam rantai makanan di perairan. Tingkat kesuburan perairan (produktivitas perairan) dapat ditunjukkan dengan konsentrasi klorofil yang terdapat di perairan tersebut. Dengan mengetahui informasi fondasi pertama rantai makanan ini maka informasi daerah-daerah yang diduga terdapat banyak ikan dapat diketahui. Produksi ikan dipengaruhi oleh aktifitas fotosintesis yang disebut dengan produktifitas primer (Zagaglia et al, 2004). Produktifitas primer dapat diestimasi menggunakan data inderaja yaitu dari parameter suhu, konsentrasi klorofil-a dan *Photosynthetic Active Radiation* (PAR) sebagaimana dimodelkan oleh Behrenfed and Falkowski (1997) dengan nama *Vertically Generalized Production Model* (VGPM). Hubungan antara produksi ikan yang diturunkan dari model Pauly dan Christensen (1995) dengan *input* dari hasil VGPM dengan produksi ikan dari lapangan dari Kementerian Kelautan dan Perikanan menunjukkan korelasi yang tinggi (Putriningsih, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi klorofil-a dengan aktifitas penangkapan sangat erat. Penelitian Gomes et al (2008) menyatakan bahwa konsentrasi klorofil selama musim *upwelling* dapat digunakan untuk

memprediksi jumlah ikan yang direkrut ke dalam populasi.

Dari penjelasan pustaka tersebut di atas, perairan yang subur dapat diasumsikan sebagai daerah yang tingkat aktifitas penangkapannya tinggi, sehingga kemungkinan adanya gangguan keamanan di laut juga tinggi. Dengan diketahuinya informasi lokasi dan waktu yang diduga terdapat banyak ikan maka dapat dijadikan salah satu pertimbangan dalam penentuan lokasi dan arah pergerakan kapal-kapal patroli sehingga operasi menjadi lebih terarah efektif dan efisien berbekal informasi yang bisa diandalkan keakuratannya.

Pada tulisan ini, dikaji penggunaan informasi yang diperoleh dari data penginderaan jauh untuk membantu dalam perencanaan operasi keamanan laut. Informasi turunan pertama dari penginderaan jauh yang digunakan adalah konsentrasi klorofil-a. Penelitian ini dibatasi hanya pada analisis statistik informasi utama untuk mencapai tujuan yaitu informasi konsentrasi klorofil-a. Sementara keterkaitan antara konsentrasi klorofil-a dengan daerah yang subur dan terkait dengan aktifitas penangkapan, serta hubungan antara daerah yang aktifitas penangkapan tinggi dengan adanya gangguan keamanan masih bersifat asumsi berdasarkan kajian pustaka dan diskusi dengan pelaku langsung operasi keamanan laut. Sehingga tujuan tulisan ini tidak membuktikan asumsi dan hubungan-hubungan tersebut, tetapi hanya melakukan bagaimana jika informasi dari data penginderaan jauh digunakan sebagai dasar dalam penentuan waktu-waktu operasi keamanan. Model analisis ini bisa digunakan untuk aspek-aspek yang lain dan menggunakan informasi yang lain pula.

Analisa bulanan citra klorofil-a selama 5 tahun (2008-2013) telah dilakukan untuk mendapatkan pola tingkat produktifitas perairan secara temporal dan secara lokasi geografis.

Sehingga diperoleh periode waktu dan analisa lokasi-lokasi potensial operasi keamanan laut. Selanjutnya informasi ini akan berguna untuk perencanaan operasi keamanan laut yang optimal dan efisien.

2 MATERI DAN METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian yang dikaji adalah di daerah perairan Arafuru pada posisi geografis $02^{\circ} 53' 00''$ LS sampai $06^{\circ} 13' 00''$ LS dan $131^{\circ} 15' 00''$ BT sampai $135^{\circ} 15' 00''$ BT. Lokasi dalam peta disajikan dalam Gambar 2-1. Perairan Arafuru merupakan perairan yang subur yang terletak di sebelah selatan Pulau Papua bagian barat. Daerah ini juga berdekatan dengan Laut Banda, sehingga menjadikan daerah yang unik karena dipengaruhi oleh lingkungan samudera atau laut dalam dan juga dipengaruhi oleh daerah laut dangkal karena berdekatan dengan

Pulau Papua yang memiliki daerah laut dangkal yang luas. Perairan Laut Aru dan Arafuru menyimpan potensi sumber daya ikan yang cukup besar, sehingga banyak yang memanfaatkan potensi itu baik secara legal maupun ilegal.

Posisi kedua perairan tersebut yg saling menyambung sangat strategis (Mukhtar, 2014), karena berbatasan dengan negara tetangga (Australia, Papua New Guinea) dan merupakan alur pelayaran (Alur Laut Kepulauan Indonesia, ALKI III), sehingga banyak kepentingan-kepentingan dari dunia internasional yang ikut memanfaatkan alur pelayaran di wilayah ini, sehingga dapat menimbulkan kerawanan-kerawanan yang dapat timbul, seperti bahaya aksi perompakan, penyelundupan, tabrakan kapal, pencemaran laut, serta tindakan-tindakan pelanggaran maupun tindak kejahatan lainnya baik konvensional maupun *trans national crime*.



Gambar 2-1: Lokasi Penelitian (Sumber: <http://pusfatja.lapan.go.id>)

2.2 Data dan Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang berupa data hasil ekstraksi informasi konsentrasi klorofil-a yang didapat dari hasil rekaman sensor MODIS yang diproses dan disediakan oleh NASA. Citra diunduh dari *Web Ocean Biology Processing Group Nasa* <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>. Data merupakan citra harian dari bulan Januari 2008 sampai Juni 2013 level 2 yang sudah berupa informasi konsentrasi klorofil-a dan terkoreksi secara geometrik. Data pendukung yang digunakan adalah Peta Hidrografi dari Dishidros TNI-AL.

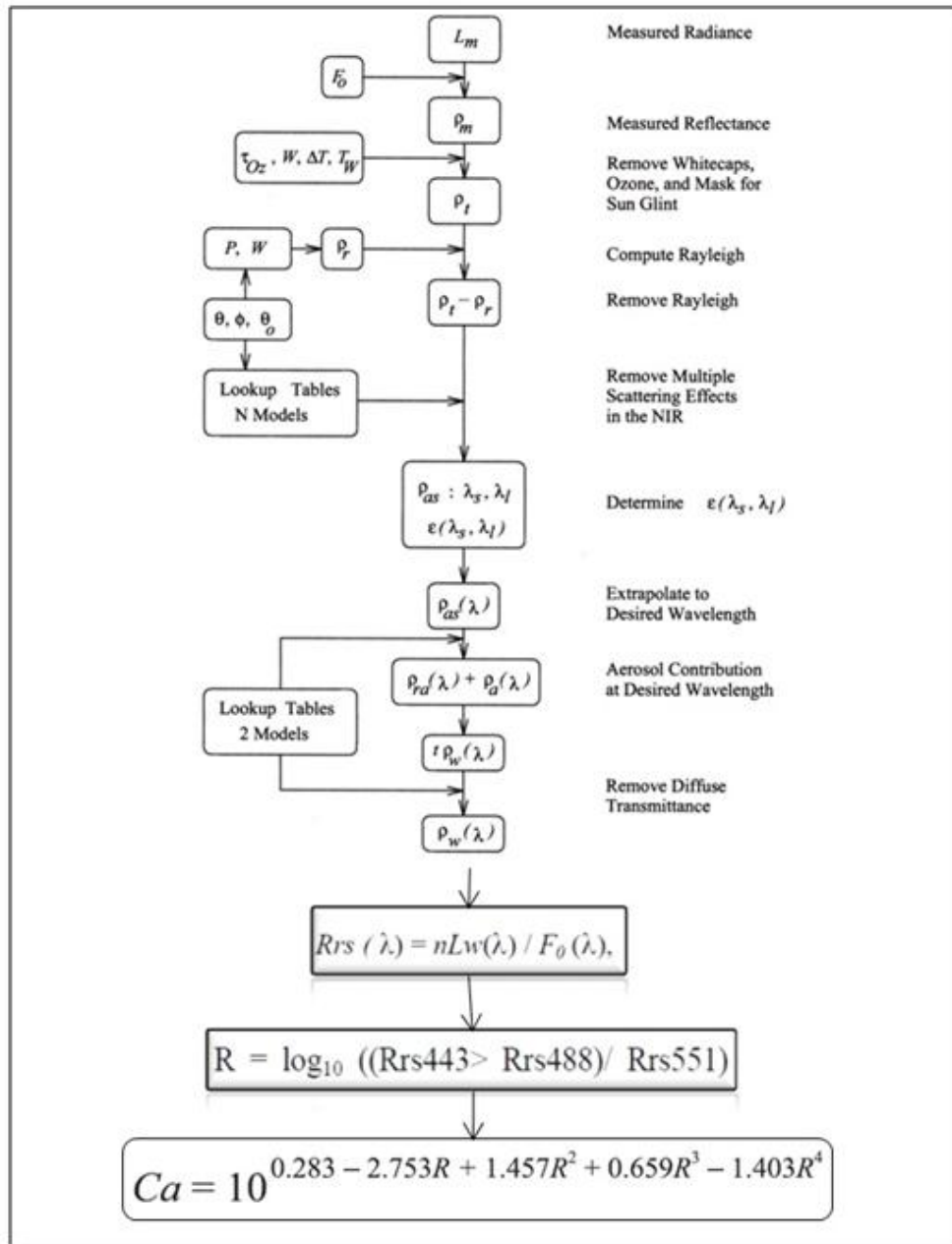
2.3 Metode

Citra klorofil-a dalam bentuk digital berisi informasi konsentrasi klorofil-a dan informasi posisi geografis setiap piksel. Citra ini harus diproses dahulu untuk mendapatkan tampilan yang sama dengan peta dasar secara geografis, karena citra aslinya belum diproyeksikan ke dalam sebuah sistem proyeksi. Proses pengolahan awal yang antara lain adalah koreksi geometrik, koreksi radiometrik, koreksi atmosferik dan transformasi ke nilai geo-fisik telah dilakukan secara otomatis baik pada saat proses dari level 0 ke level 1A, proses dari level 1A ke 1B maupun dari 1B ke level 2. Data level 2 ini yang sudah terkoreksi geometrik tetapi belum diproyeksikan, diproses menggunakan *software* untuk mendapatkan tampilan citra sesuai dengan proyeksi peta yang digunakan.

Ekstraksi konsentrasi klorofil-a (C_a) dari data MODIS diproses dengan algoritma standar *Ocean Biology Processing Group NASA chl_oc3* (O'Reilly et al, 2000). Algoritma ini adalah sebuah fungsi polinomial tingkat 4 dari R , yang mana R adalah pembagian antara nilai reflektan yang keluar dari kolom air ($R_{rs} = \text{water-leaving reflectance}$) pada panjang gelombang 443 nm atau 448 nm ($R_{rs} 443 > R_{rs} 448$), mana yang paling besar dengan $R_{rs} 551$ (Gambar 2-2 bagian bawah). Reflektan yang keluar dari kolom air saja (ρ_w) dihitung dengan cara yang cukup rumit dengan menghilangkan

pengaruh-pengaruh lain seperti pengaruh hamburan oleh molekul air (ρ_r), aerosol (ρ_a) dan interaksi keduanya (ρ_{ra}), pengaruh *sunlint* (ρ_g) dan pengaruh kekasaran permukaan air (ρ_{tw}) yang dikembangkan oleh Gordon and Voss (1999). Perhitungan pengaruh hamburan molekul air, *sunlint* dan kekasaran permukaan air dihitung menggunakan data-data tambahan (*look up table LUT N Model*), sementara pengaruh hamburan aerosol dan interaksi molekul-aerosol (*multiple scattering*) dihitung dari kanal-kanal infra merah dekat (NIR) dimana diasumsikan bahwa reflektan pada kolom air dari kanal-kanal NIR ini dianggap nol. Diagram alir dan algoritma ekstraksi informasi konsentrasi klorofil-a dari Data MODIS disajikan dalam Gambar 2-2.

Citra konsentrasi klorofil-a yang diunduh adalah setiap waktu akuisisi citra dimana ada kemungkinan dalam satu hari terdapat lebih dari satu akuisisi. Kemudian diproses lebih lanjut yaitu dengan membuat data harian yang diproyeksikan dalam proyeksi peta dasar dan dipotong sesuai dengan wilayah penelitian. Selanjutnya data harian ini diproses menjadi data rata-rata bulanan pada setiap piksel dan dihitung rata-rata baik dari seluruh piksel dalam area studi (analisa umum) dan pada area-area yang lebih kecil yang terbagi menjadi dalam 7 zona dengan dasar perbedaan konsentrasi rata-rata dalam 1 tahun (Gambar 3-6). Data konsenrtasi bulanan rata-rata tersebut kemudian dianalisa polanya selama satu tahun dalam kurun waktu 5 tahun. Pola kenaikan konsentrasi klorofil-a rata-rata seluruh wilayah menggambarkan pola kenaikan secara umum dan digunakan untuk mengetahui waktu dengan aktifitas penangkapan yang tinggi. Pola kenaikan pada zona-zona yang lebih kecil digunakan untuk perbandingan secara spasial apakah ada perbedaan atau tidak, dan bisa menunjukkan perbedaan tingkat aktifitas penangkapan ikan pada zona yang berbeda.



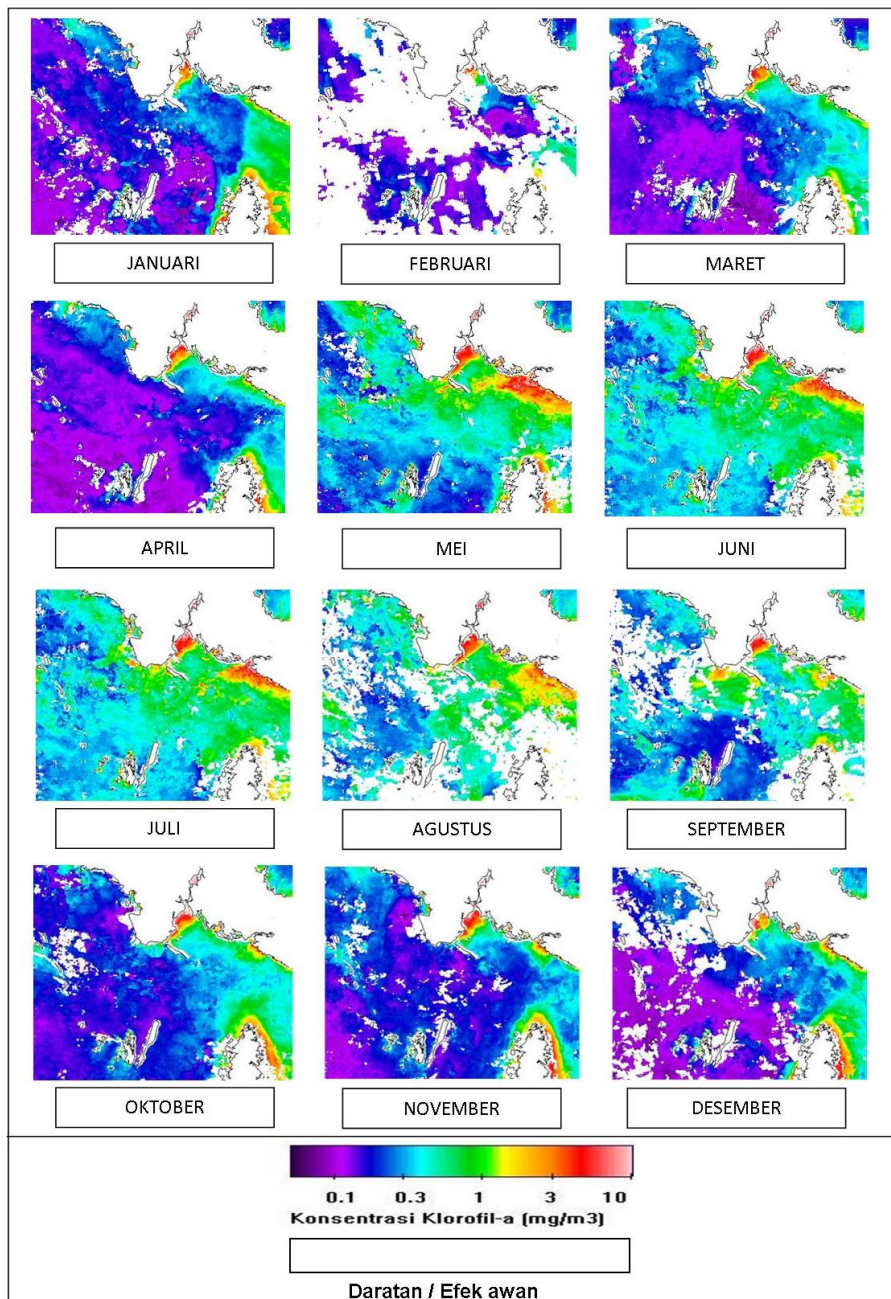
Gambar 2-2: Diagram alir dan algoritma ekstraksi informasi konsentrasi klorofil-a dari Data MODIS (O'Reilly, et al, 2000; Gordon and Voss, 1999.)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

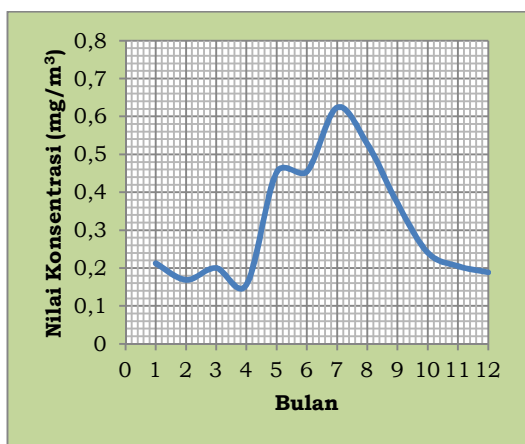
3.1 Konsentrasi Klorofil-a di Perairan Arafuru

Variasi bulanan selama 5 tahun konsentrasi klorofil-a digunakan sebagai indikator kesuburan perairan dan potensi penangkapan. Analisa dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pola waktu kenaikan konsentrasi klorofil-a secara umum di lokasi penelitian, sehingga waktu saat potensi penangkapan ikan tinggi dapat diduga. Informasi sebaran konsentrasi klorofil-a

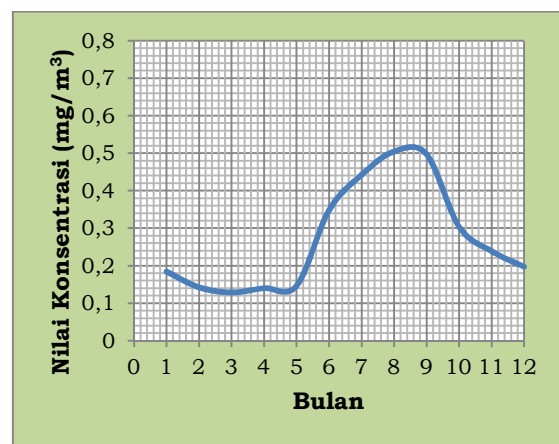
bulanan pada tahun 2008 dapat dilihat pada Gambar 3-1. Sedangkan grafik rata-rata bulanan selama tahun 2008 disajikan dalam Gambar 3-2a. Variasi klorofil-a rata-rata bulanan selama tahun 2008 berkisar antara 0,15 – 0,62 mg/m³. Nilai konsentrasi klorofil-a 0,15 mg/m³ termasuk dalam kisaran rendah dimana konsentrasi ini biasa dimiliki oleh perairan samudera yang miskin pada perairan tropis, karena kurangnya masukan zat hara (Vantrepotte and Melin, 2009; Winarso et al, 2012).



Gambar 3-1: Citra Konsentrasi Klorofil-a Tahun 2008



(a)



(b)

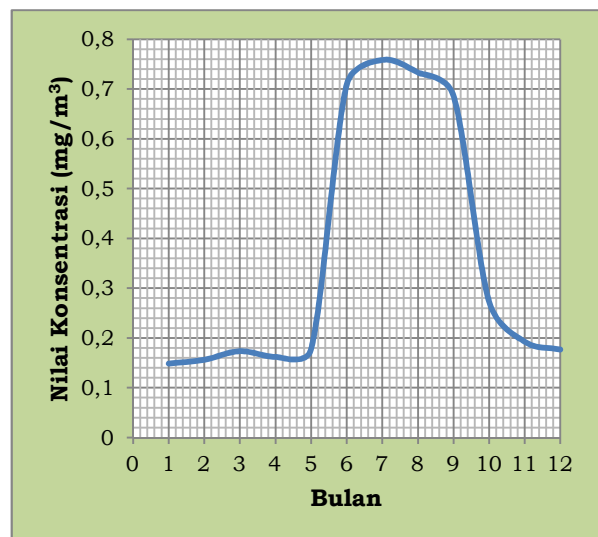
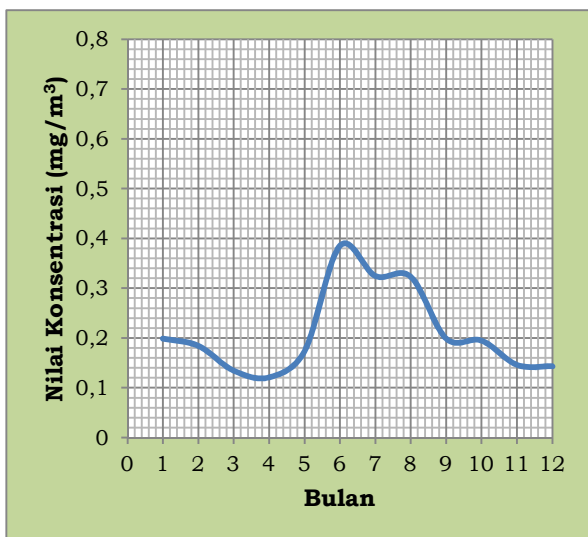
Gambar 3-2: Grafik Rata-rata Bulanan Konsentrasi Klorofil-a (mg/m³) Tahun 2008 (a) dan Tahun 2009 (b)

Konsentrasi klorofil-a tahun 2008 umumnya pada Januari sampai April masih rendah dan cenderung meningkat pada Mei sampai puncaknya pada Juli dan selanjutnya kembali turun sampai Oktober hingga Desember. Pada citra terlihat warna merah dekat garis pantai mengindikasikan bahwa konsentrasi klorofil-a tinggi. Pendugaan konsentrasi klorofil-a dengan data di daerah pesisir memerlukan konfirmasi lagi karena ada kemungkinan terjadinya estimasi berlebih karena pesisir kadang memiliki kandungan CDOM dan bahan tersuspensi yang tinggi yang mengakibatkan kesalahan perhitungan konsentrasi klorofil-a (Tan, et al, 2006). Algoritma standar yang digunakan menghasilkan konsentrasi klorofil-a yang memiliki korelasi yang tinggi dengan pengukuran di lapangan hanya pada perairan *case-1* dimana tidak ada komponen CDOM dan bahan tersuspensi (Darecki and Stramski, 2004).

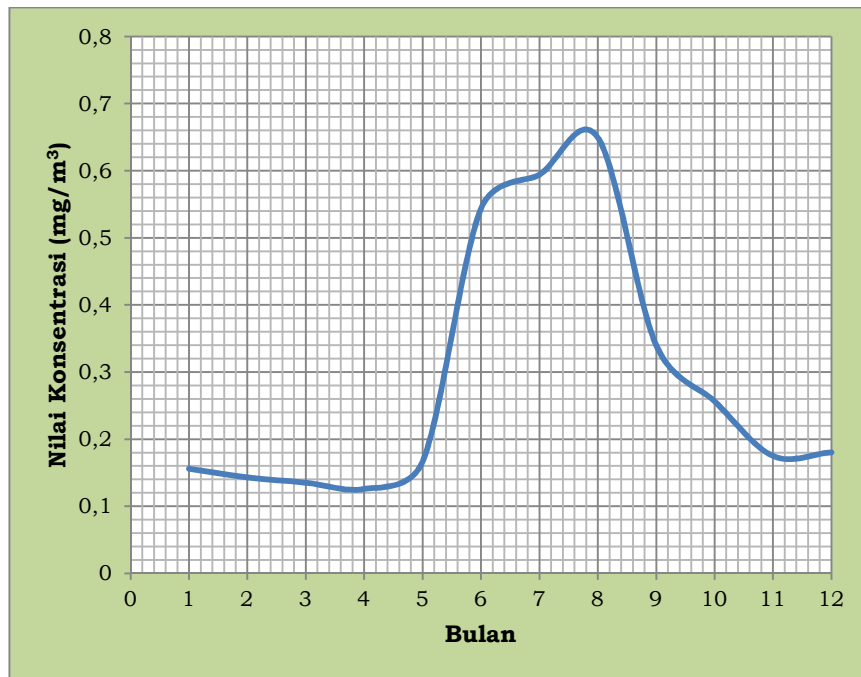
Nilai konsentrasi klorofil tahun 2009 pada umumnya masih rendah di Januari sampai April dan cenderung

meningkat saat masuk pada Mei dan puncaknya pada Agustus dan September, selanjutnya menurun lagi sampai Desember (Gambar 3-2b). Pada tahun ini kisaran rata-rata konsentrasi klorofil-a adalah 0.12 -0.50 mg/m³, sedikit lebih rendah dari kisaran rata-rata klorofil-a pada tahun 2008. Ada perbedaan yaitu bergesernya puncak konsentrasi klorofil-a pada Juli 2008 bergeser ke Agustus 2009. Awal kenaikan konsentrasi juga berbeda, pada 2008 masuk sudah mulai naik, sementara pada 2009, baru mulai naik pada Mei menuju Juni.

Konsentrasi klorofil rata-rata tahun 2010 di area penelitian nilainya pada umumnya rendah yaitu berkisar antara 0,12 – 0,38 mg/m³. Nilai rata-rata meningkat seperti terlihat dalam grafik (Gambar 3-3a) yaitu antara Mei – September dan nilai tertinggi di Juni. Dibandingkan tahun-tahun sebelumnya, pola kenaikan dengan variasi berbeda cukup signifikan, baik dari kisaran nilainya maupun pola kenaikan dan puncaknya.



Gambar 3-3: Grafik Rata-rata Bulanan Konsentrasi Klorofil-a (mg/m³) Tahun 2010 (a) dan Tahun 2011 (b)



Gambar 3-4: Grafik Rata-rata Bulanan Tahun 2012

Nilai konsentrasi klorofil-a tahun 2011 pada umumnya pada Januari sampai April masih rendah dan naik secara signifikan dari Mei sampai dengan puncaknya di Juni dan terus tinggi sampai September dan kembali menurun drastis di Oktober dan rendah sampai Desember (Gambar 3-3b). Dibandingkan tahun-tahun sebelumnya, tahun 2011 merupakan konsentrasi klorofil-a rata-rata tertinggi yaitu mencapai 0,75 mg/m³, berbeda cukup signifikan dari tahun 2009 yang tertinggi hanya mencapai 0,38 mg/m³. Bulan-bulan dengan konsentrasi tinggi terjadi pada bulan yang hampir sama dengan tahun-tahun sebelumnya.

Konsentrasi klorofil-a tahun 2012 pada umumnya nilainya naik secara signifikan mulai Mei dan rata-rata tinggi di Juni sampai Agustus, puncak tertinggi antara Juli ke Agustus dan kembali turun lagi dari Agustus ke September secara signifikan juga dan terus turun dan rendah hingga Desember.

3.2 Variasi Klorofil-a Rata-rata Bulanan Tahun 2008-2012

Secara umum di area penelitian, konsentrasi klorofil-a rata-rata tertinggi

nilainya pada Juni-Agustus dan bertepatan dengan musim timur. Di perairan Indonesia umumnya, kondisi perairan dipengaruhi oleh adanya angin muson. Wirtky (1961) mengatakan bahwa perairan Indonesia pada Juni-September mengalami Muson Tenggara (musim timur) dan pada Desember-Maret terjadi Muson Barat Laut (musim barat).

Secara umum fenomena musim tersebut mengakibatkan terjadinya perubahan pada arah angin permukaan yang akan menimbulkan arus permukaan karena angin (*wind-driven current*), dimana arus ini akan sedikit ke arah kanan dari arah angin pembangkitnya karena pengaruh *Ekman Pumping*. Arah arus yang bergerak ke arah Barat karena rata-rata arah angin ke arah Barat Laut, sementara sisi sebelah timur adalah daratan membuat perairan tersebut menjadi kekurangan air karena masa air yang bergerak ke arah barat, kekosongan masa air inilah yang menyebabkan naiknya massa air dari bawah yang biasa disebut dengan *upwelling*. Kuat lemahnya *upwelling* dipengaruhi oleh kecepatan angin yang menghembus. Hal tersebut di atas adalah salah satu kemungkinan karena

melihat arah angin dan posisi daratan. Akan tetapi apakah di wilayah tersebut benar-benar terjadi *upwelling*, diperlukan investigasi lanjutan karena pengkayaan unsur hara terjadi bukan hanya karena *upwelling*. Apalagi daerah tersebut adalah daerah dekat dengan daratan dimana kemungkinan adanya sebab lain.

Hal ini yang mengakibatkan perubahan kondisi suatu perairan, karena datangnya masa air yang dingin dan mengandung nutrisi yang tinggi membuat variasi temperatur, salinitas permukaan laut, pola sebaran nutrisi (nitrat, fosfat dan silikat) secara vertikal dan horizontal. Tambahan kandungan nutrisi dari kolom air bawah tentunya membuat peningkatan produktivitas primer di area tersebut yang diindikasikan oleh tingginya konsentrasi klorofil-a.

Seperti halnya dengan perairan Indonesia pada umumnya di perairan Arafuru juga mengalami perubahan yang diakibatkan oleh adanya musim yang berlaku tersebut. Fenomena *upwelling* adalah salah satu contohnya dimana variasi temperatur dan salinitas yang ditimbulkannya menjadi sangat signifikan. Fenomena *upwelling* banyak terjadi pada musim timur ini akibatnya konsentrasi karbon laut Indonesia bagian timur rata-rata pada musim timur lebih tinggi dibandingkan pada musim barat (Aisyah, 2012).

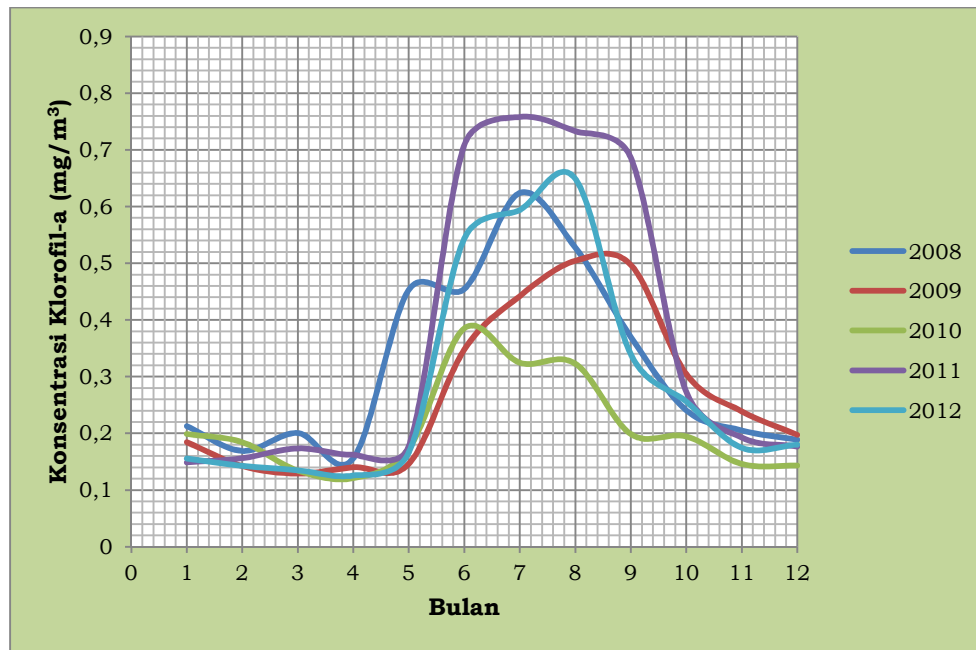
Selain dari *upwelling* kemungkinan penyebab lain terjadinya peningkatan produktivitas perairan yang disebabkan oleh pengaruh musim pada periode musim timur ini, dimana angin dominan bergerak dari Timur ke Barat atau dari Tenggara ke Barat Laut (Wyrski, 1961). Aliran angin yang berasal dari Samudera Pasifik Barat Daya melewati laut Arafuru dan serta wilayah lainnya di belahan bumi bagian selatan memberikan pengaruh terhadap peningkatan unsur hara dipermukaan sebagai akibat dari proses pengadukan

vertikal yang terjadi di perairan Arafuru sehingga konsentrasi klorofil-a nya pun meningkat.

Selain karena proses *upwelling* dan pengadukan oleh angin, pemasukan nutrisi bisa juga terjadi dari aliran sungai dari daratan. Air sungai membawa material organik sebagai sumber nutrisi dan akan semakin tinggi waktu musim hujan. Akan tetapi pengaruh ini hanya pada daerah dekat pantai dan tidak menyebar sampai laut lepas.

Dari analisa bulanan setiap tahun dari tahun 2008-2012, pola kenaikan konsentrasi klorofil-a terlihat kecenderungan hampir sama yaitu pada dimulai Juni – September, artinya nilai konsentrasi klorofil-a baru mulai meninggi pada Mei dan sudah tinggi pada Juni. Kecuali pada 2008 dimana konsentrasi mulai meninggi pada April dan sudah tinggi pada Mei, 1 bulan lebih awal. Sementara hampir terjadi pada semua tahun konsentrasi sudah rendah kembali pada Oktober, kecuali pada tahun 2010, dimana September sudah cukup rendah (Gambar 3-5).

Sehubungan dengan pola waktu kenaikan potensi penangkapan ikan, yang akan dikaitkan dengan waktu operasi kumala untuk mencegah/mengurangi *illegal fishing*, hasil tersebut bisa dijadikan acuan. Secara umum pada lokasi penelitian, waktu yang direkomendasikan adalah Juni, Juli, Agustus dan Desember. Karena kenaikan konsentrasi klorofil-a terjadi pada bulan tersebut dan sama terjadi di semua tahun selama tahun 2008-2012. Tetapi perlu diperhatikan adanya kemungkinan pergeseran awal dan akhir waktu naiknya konsentrasi klorofil-a. Sebagaimana terjadi pada tahun 2008 dimana kenaikan konsentrasi klorofil-a sudah terjadi pada Mei dan berakhir lebih cepat sebagaimana terjadi pada tahun 2010 yaitu sudah rendah pada September.



Gambar 3-5: Grafik Rata-rata Bulanan Tahun 2008-2012

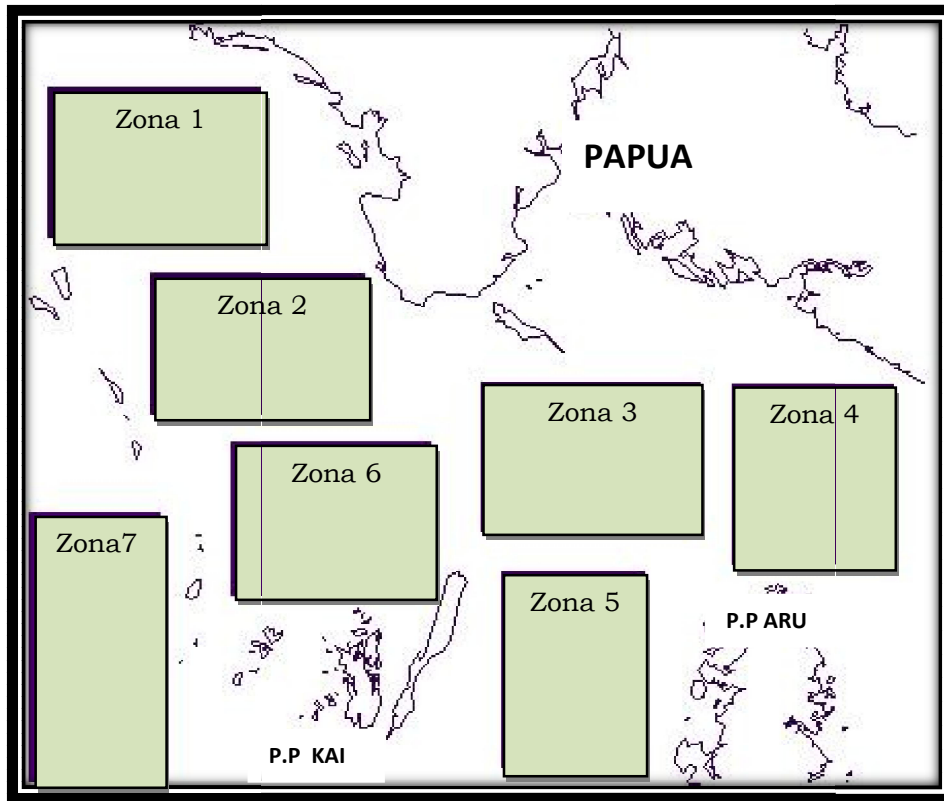
Secara statistik bahwa anomali ini terjadi hanya dalam 1 tahun selama 5 tahun, sehingga secara umum waktu yang direkomendasikan dapat digunakan untuk waktu-waktu yang akan datang. Walaupun dapat digunakan untuk prediksi tahun berikutnya, akan tetapi faktor-faktor yang mempengaruhi adanya anomali tersebut harus terus dipelajari. Secara umum perairan Indonesia dipengaruhi oleh fenomena global yaitu El Nino, *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan Arlindo. Secara khusus lokasi penelitian juga akan dipengaruhi oleh faktor-faktor secara lokal.

3.3 Konsentrasi Klorofil-a dalam Zonasi Penelitian

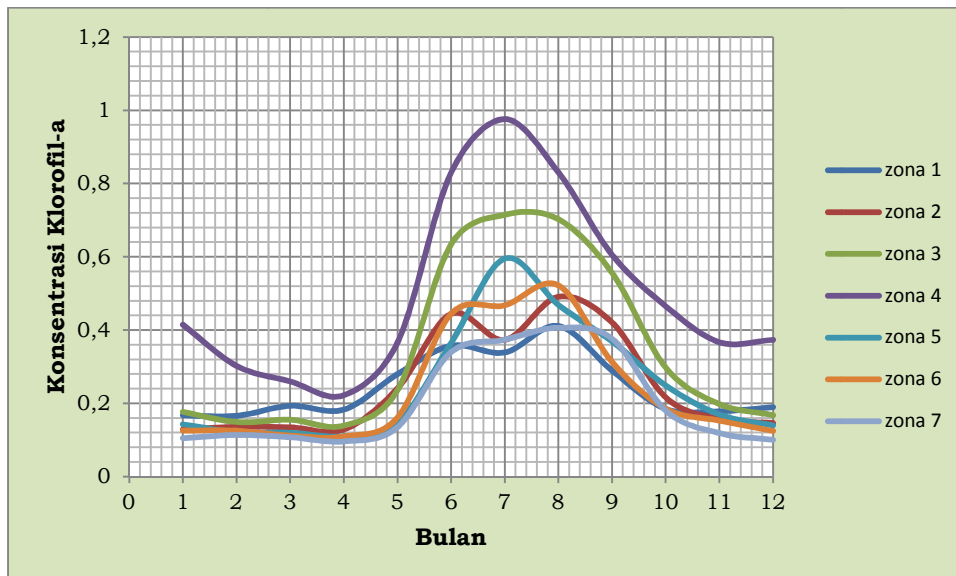
Pada sub bab sebelumnya dibahas mengenai analisa pola waktu untuk mengetahui waktu terjadinya peningkatan konsentrasi klorofil-a dan diduga memiliki potensi penangkapan ikan yang potensial. Waktu terjadinya kenaikan konsentrasi klorofil-a ini dijadikan salah satu referensi dalam merencanakan operasi keamanan. Akan tetapi analisis tersebut berlaku untuk seluruh wilayah area penelitian. Untuk mengoptimalkan operasi keamanan diperlukan informasi daerah yang potensial dan tidak potensial, karena

kenaikan konsentrasi tidak terjadi merata di seluruh wilayah penelitian. Untuk itu diperlukan informasi apakah pada daerah yang berbeda memiliki pola kenaikan konsentrasi klorofil yang sama. Kalau terjadi perbedaan waktu kenaikan konsentrasi klorofil-a, penentuan waktu operasi bisa saja berbeda antar daerah tersebut, sehingga optimalisasi bisa dilakukan.

Untuk mengetahui variasi konsentrasi klorofil-a secara spasial, masih diperlukan analisa lanjutan. Untuk mengetahui karakter sebaran konsentrasi klorofil-a bulanan di area penelitian pada unit area yang berbeda maka area penelitian dibagi dalam zona-zona pengamatan dan penghitungan seperti pada Gambar 3-6. Pembagian zona tersebut bertujuan untuk mengetahui perbedaan pola kenaikan klorofil-a antar zona yang berbeda. Jika diantara zona tersebut ada yang mempunyai pola yang berbeda dengan zona lainnya maka tindakan/penanganan di zona tersebut juga idealnya harus berbeda dengan zona lainnya, misalnya dalam hal penetapan jadwal/waktu operasi di dalam aplikasi informasi pola ini sebagai informasi pendukung dalam rangka pembuatan perencanaan operasi kmla.



Gambar 3-6: Pembagian Zona pada Area Penelitian



Gambar 3-7: Grafik Konsentrasi Klorofil-a bulanan rata-rata selama 5 tahun (2008-2012)

Zona penelitian dibagi dalam 7 (tujuh) zona yang mewakili seluruh area penelitian di Perairan Arafuru dimana pada area-area tersebut dimungkinkan terjadinya gangguan keamanan. Penelitian ini tidak membahas perairan dekat pantai sehingga zona-zona yang dibuat jauh dari pantai, karena bertujuan untuk meneliti daerah-daerah

yang rawan gangguan keamanan dan letaknya relatif jauh dari pangkalan kapal patrol keamanan. Selain itu juga, perairan dekat pantai banyak didominasi pengaruh daratan atau pesisir sehingga sangat dimungkinkan terjadinya over estimasi algoritma untuk estimasi konsentrasi klorofil dalam penghitungannya (Tan, et al. 2008).

Dari hasil pengolahan citra 5 (lima) tahun pada 7 (tujuh) zona yang mewakili sepanjang area penelitian dapat diketahui bahwa secara umum nilai sebaran konsentrasi klorofil-a dari zona 1 – zona 7 rata-ratanya bervariasi antara 0.096 – 0.976 mg/m³, kenaikan konsentrasi klorofil-a selama setahun terjadi pada Mei-Oktober dan rata-rata tinggi pada Juni, Juli dan Agustus, yaitu berkisar antara 0.339 – 0.976 mg/m³, sebagaimana disajikan dalam Gambar 3-7.

Pola kenaikan konsentrasi klorofil-a per zona, dari zona 1 sampai zona 7 sedikit berbeda. Pada zona 1 dan 2 kecenderungan kenaikan nilai konsentrasi rata-ratanya terjadi pada April dan rendah mulai Oktober atau pergerakan kenaikan konsentrasinya terjadi lebih cepat daripada zona lainnya (zona 3 – 7) yang kenaikannya baru dimulai pada Mei. Dalam implementasinya, hal ini dapat menjadi acuan dalam merencanakan operasi keamanan laut pada waktu yang secara umum bersamaan tetapi secara khusus masih ada perbedaan di zona-zona tertentu misalnya di zona 1 dan 2 yang berbeda dengan zona 4 sampai zona 7. Dimana zona 1 dan 2 kenaikan konsentrasinya lebih awal dan turunnya lebih cepat dibandingkan dengan zona 3 sampai zona 7, sehingga pada zona yang mempunyai karakter berbeda tersebut perlu perlakuan atau langkah yang berbeda pula dalam membuat perencanaan operasinya.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Analisa konsentrasi klorofil-a rata-rata bulanan dalam setahun selama tahun 2008-2012 dapat menunjukkan waktu-waktu kenaikan konsentrasi klorofil-a yang diasumsikan sebagai waktu tinggi aktifitas penangkapan ikan yang dapat memberikan pertimbangan untuk melakukan operasi keamanan laut. Pada seluruh kawasan memiliki pola yang hampir sama secara umum dan memiliki sedikit perbedaan pada

area-area tertentu. Jika terjadi perbedaan yang signifikan antara zona analisa, maka hasil analisa bisa menunjukkan lokasi-lokasi khusus dengan waktu-waktu yang disarankan untuk melakukan operasi keamanan laut. Untuk kasus kawasan ini memiliki pola yang hampir sama.

Analisa perubahan tahunan menunjukkan pola yang hampir sama terjadi pada tahun yang berbeda antara 2008-2012, tetapi ada perbedaan pada awal, tinggi puncak dan akhir, kadang pada tahun tertentu lebih cepat dan sebaliknya. Untuk mengurangi kesalahan perencanaan disarankan untuk menganalisa penyebab terjadinya anomali pada tahun-tahun tersebut. Sehingga informasi adanya fenomena yang mempengaruhi bisa menjadi pertimbangan dalam perencanaan operasi keamanan laut.

DAFTAR RUJUKAN

- Aisyah, Siti, 2012. *Perairan Indonesia*. <http://aisyahuda.blogspot.com/>, di akses tanggal 12 Oktober 2013.
- Behrenfeld, M. J. and P. G. Falkowski, 1997. *Photosynthetic Rates Derived from Satellite-Based Chlorophyll Concentration*, *Limnol. Oceanogr*, 42, 1–20.
- Edy, I, 2009. *Pengenalan Operasi Kamla*, Diktat Pelajaran Diklapa KOBANGDIKAL TNI-AL Surabaya.
- Darecki M, and Stramski D., 2004. *An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea*, *Remote Sens Environ* 89: 326–350.doi:10.1016/ j.rse.2003. 10.012.
- Food and Agriculture Organization, 2001. *International Plan of Action to Prevent, Deter and Eliminate Illegal, Unreported and Unregulated Fishing*. FAO United Nations, Rome.
- Gomes, F., Montecinos, A., Hormazabal, S., Yuras, G., Cubillos, L., and P. Chavez, F.P., 2008. *Connecting Fish Abundance with Remote*

- Sensing of Chlorophyll in Eastern Boundary Upwelling Systems*, Proceeding of the National Academy of Science of the United State of America.
- Gordon, H. R. and Kenneth J. Voss, 1999. *MODIS Normalized Water-Leaving Radiance, Algorithm Theoretical Basis Document*. Departement of Physics Univesity of Miami.
- O'Reilly, J. E., S. Maritorena, D. Siegel, M. C. O'brien, D. Toole, B. G. Mitchell, M. Kahru, F. P. Chavez, P. Strutton, G. Cota, S. B. Hooker, C. R. McClain, K. L. Carder, F. Muller-Karger, L. Harding, A. Magnuson, D. Phinney, G. F. Moore, J. Aiken, K. R. Arrigo, R. Letelier, and M. Culver, 2000. *Ocean Color Chlorophyll-A Algorithms for SeaWiFS, OC2 and OC4, in SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses: Part 3*, SeaWiFS Postlaunch Tech. Rep. Ser., vol. 11, version 4, edited by S. B. Hooker and E. R. Firestone, pp. 9 – 23, NASA Goddard Space Flight Cent., Greenbelt, Md.
- Mukhtar, 2014. *Kerugian Negara di Perairan Laut Aru dan Laut Arafura*. [http://www.kkp.go.id/index.php/arsip/c/10347/Kerugian-Negara-di-Perairan-Laut-Aru-dan-Laut-Arafura/?category_id=](http://www.kkp.go.id/index.php/arsip/c/10347/Kerugian-Negara-di-Perairan-Laut-Aru-dan-Laut-Arafura/?category_id=diakses) diakses Tanggal 7 Januari 2014.
- Putriningsih, A.G.A., 2011. *Estimation of Fish Production around Indonesia Archipelago using Satellite Data*, Master Thesis on Master Program on Environmental Science of Udayana University Postgraduate Program.
- Rahardjo, Priyanto, 2013. *Analisa Nilai Kerugian Akibat Illegal Fishing di Laut Arafura Tahun 2001-2013*, Tulisan dalam Workshop on parameters and Indication of Habitats to be Expressed in Map of Trawl Fishing Gear Management in Arafura Sea, Ditjen Perikanan Tangkap KKP dan FAO, Bogor 19-22 Maret 2013.
- Tan, C.K., Ishizaka, J., Matsumura, S., Yusoff, F.M. and Mohamed, M.I., 2006. *Seasonal Variability of Seawifs Chlorophyll a in the Malaccastraits in Relation to Asian Monsoon*, Cont. Shelf Res., 26, 168–178.
- Vantrepotte, V. and Melin, F., 2009. *Temporal variability of 10-year global SeaWiFS Time-serries of Phytoplankton Chlorophyll a Concentration*, ICES Journal of Marine Science, 66 1547-1556.
- Winarso, G., Hosotani, K. dan Kikukawa, H., 2006. *Chlorophyll a Distribution Deduced From MODIS Ocean Color Data and its Characteristics around Hyuganada*, Vol. 55, Mem. Fac.Fish.Kagoshima University.
- Winarso, G., Purwanto, A. D. and Hartuti, M., 2013. *Performance of Modis Standard (OC_3) Chlorophyll-A Algorithm in Indonesia Case-1 Waters*, Proceeding of Asian Conference of Remote Sensing. Asian Asian Association of Remote Sensing 2013. Bali Indonesia.
- Wyrtki, C., 1961. *Naga Report Volume 2, Scientific Result of marine Investigation of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961*, The University of California.
- Zagaglia, C.R., Lorenzetti, J.A., Stech, J.L., 2004. *Remote Sensing Data and Longline Catches of Yellowfin Tuna (Thunnus albacores) in the Equatorial Atlantic*, Remote Sens. Environ. 93, 267–281.