

ANALISIS POLA ARUS LAUT PERMUKAAN PERAIRAN INDONESIA DENGAN MENGGUNAKAN SATELIT ALTIMETRI JASON-2 TAHUN 2010-2014

Haryo Daruwedho, Bandi Sasmito, Fauzi Janu A.^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp. (024)76480785, 76480788
Email : haryo.daruwedho@gmail.com

ABSTRAK

Arus adalah gerakan mengalir suatu massa air yang disebabkan oleh tiupan angin, perbedaan densitas, atau pergerakan gelombang panjang. Akuisisi data arus menggunakan alat konvensional sangat sulit dilakukan untuk wilayah luas dan memerlukan biaya yang besar, oleh karena itu digunakan data dari satelit Altimetri Jason-2 yang menawarkan data mengenai arah dan kecepatan angin yang nantinya melalui metode perhitungan didapatkan data arus laut permukaan Perairan Indonesia.

Penelitian ini mengambil lokasi di wilayah perairan Indonesia dengan letak geografis 6°08' LU - 11°15' LS, dan dari 94°45' BT - 141°05' BT. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data GDR (*Geophysical Data Record*) Satelit Altimetri Jason-2 tahun 2010-2014. Data GDR berisikan 36 *pass* (jalur orbit) dalam satu *cycle*, dimana satu *cycle* di tempuh dalam waktu sepuluh hari. Metode yang digunakan adalah perhitungan arah dan kecepatan arus laut permukaan tiap *cycle* dengan persamaan Stewart.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Saat terjadi angin muson Barat, angin bertiup dari Barat menuju Timur, sehingga arus juga bergerak dari arah Benua Asia menuju ke Benua Australia. Saat terjadi angin muson Timur, angin bertiup dari arah Timur menuju Barat, sehingga arus juga bergerak dari arah Benua Australia menuju ke Benua Asia. Sedangkan saat terjadi musim peralihan, baik saat peralihan dari muson Barat ke muson Timur maupun saat peralihan dari muson Timur ke muson Barat pergerakan arus tidak teratur dan cenderung terbagi menjadi dua arah yakni dari Benua Asia menuju Benua Australia dan dari Benua Australia menuju Benua Asia namun kecepatan arusnya rata-rata adalah lemah di hampir seluruh perairan di Indonesia. Pola arus laut permukaan hasil pemodelan menunjukkan beberapa arah arus yang tidak mengikuti model arus Wyrтки, namun terdapat juga beberapa arah arus yang memiliki kemiripan dan mengikuti model arus Wyrтки di lokasi perairan yang dijadikan sampel seperti di Laut Arafuru, perairan sekitar pulau Jawa, perairan sebelah barat pulau Sumatera, perairan sebelah utara pulau Papua, dan Selat Karimata.

Kata Kunci : Arus Laut Permukaan, Model Arus Wyrтки, Satelit Altimetri Jason-2

ABSTRACT

Ocean Current is a mass movement of flowing water caused by wind, differences in density, or long wave movement. At the present time many ocean currents used for various purposes that support human life. However, current data acquisition using conventional tools is very difficult for the vast territory and require a huge cost, therefore we use data from altimetry satellites. With the development of altimetry satellite system, one of the Jason-2 altimetry satellites which offer data on wind direction and the speed of wind that will go through the calculation method to get the surface ocean currents data of Indonesian waters.

This study took place in Indonesian waters which is located within 6 ° 08 'N - 11 ° 15' S and 94 ° 45 'E - 141 ° 05' E. The data used in this research is GDR (Geophysical Data Record) data of Jason-2 altimetry satellites in 2010-2014. GDR data contains 36 pass (the orbital paths) in a single cycle, which one cycle can be reached within ten days. The method used is the calculation of the direction and speed of ocean currents surface of each cycle with Stewart equation.

The results of this study indicate that when West monsoon occurs from December to February, the wind is blowing from the West to the East, so the current is also moving from the Asian continent towards the Australian

Continent. In the event of East monsoon which is from June to August, the wind is blowing from the East to the West, so the current is also moving from the Australian continent towards the Asian continent. Meanwhile, during a transitional season either the transition from monsoon West to monsoon East which is from March to May and during the transition from monsoon East to monsoon West which is from September to November, the current's movement is irregular and tend to fall into two directions, ie from the Asian continent towards Australian continent and from the Australian continent to the Asian continent, but the average speed of the current is weak in almost all Indonesian waters. The current pattern of sea surface modeling results indicate some current directions are not the same as Wyrki current model, but some current directions are also the same as Wyrki current model in several water location samples such as Arafuru Sea, the water around the Java island, the water west of the Sumatra island, the water north of the Papua island, and the Strait of Karimata.

Keywords : *Ocean Surface current, Wyrki current model, Altimetry Satellite Jason-2*

**) Penulis Penanggung Jawab*

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Menurut Janhidros (2006), luas wilayah daratan Indonesia $\pm 2.012.402 \text{ km}^2$ dan luas perairannya $\pm 5.877.879 \text{ km}^2$. Hal ini mengindikasikan bahwa daerah perairan Indonesia lebih luas daripada daerah daratan. Untuk itu, pengetahuan mengenai kelautan menjadi sangat penting untuk dipelajari dan diteliti, di antaranya adalah fenomena fisik air laut berupa arus.

Arus adalah gerakan mengalir suatu massa air yang disebabkan oleh tiupan angin, perbedaan densitas, atau pergerakan gelombang panjang. Pada masa sekarang ini arus laut banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan yang menunjang kehidupan manusia. Akan tetapi, penelitian tentang arus laut itu sendiri masih sedikit dilakukan terutama di wilayah perairan Indonesia.

Dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, perekaman data arus dapat lebih mudah dilakukan, yaitu dengan memanfaatkan data data dari satelit Altimetri. Satelit Altimetri merupakan satelit yang bertugas untuk melakukan observasi laut, khususnya berbagai fenomena dan dinamika yang terjadi di permukaan laut.

Sehubungan dengan hal tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan pemodelan pola arus laut permukaan perairan Indonesia menggunakan data satelit Altimetri Jason-2 sehingga didapatkan analisis model pola arus laut permukaan perairan di Indonesia periode 2010-2014.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka permasalahan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil pemodelan pola arus laut permukaan perairan Indonesia dari data satelit Altimetri Jason-2 pada tahun 2010-2014?
2. Bagaimana analisis pola arus laut permukaan perairan Indonesia dari data satelit Altimetri Jason-2 pada tahun 2010-2014 terhadap pergerakan angin Muson dan model arus Wyrтки?

I.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pola arus laut yang dianalisis adalah arus laut permukaan di perairan Indonesia.
2. Data yang digunakan adalah data GDR (*Geophysical Data Record*) dari satelit Altimetri Jason-2 periode 2010-2014.
3. Metode yang digunakan adalah perhitungan arah dan kecepatan arus laut permukaan tiap *cycle* dengan persamaan Stewart.
4. Analisis pola arus laut permukaan yang dilakukan adalah berdasarkan pergerakan angin Muson dan dibandingkan dengan model arus Wyrтки.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pemodelan pola arus laut permukaan perairan Indonesia dari data satelit Altimetri Jason-2 pada tahun 2010-2014.
2. Untuk menganalisis pola arus laut permukaan perairan Indonesia dari data satelit Altimetri Jason-2 pada tahun 2010-2014 terhadap pergerakan angin Muson dan model arus Wyrтки.

Manfaat penelitian :

1. Mendapatkan model pola arus laut permukaan di perairan Indonesia dari satelit Altimetri Jason-2 pada tahun 2010-2014.
2. Mendapatkan hasil analisis dari pemodelan pola arus laut permukaan yang nantinya diharapkan dapat bermanfaat untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

II. Tinjauan Pustaka

Arus Laut Permukaan merupakan gerakan massa air yang disebabkan oleh angin yang berhembus di permukaan laut pada kedalaman kurang dari 200 m yang berpindah dari satu tempat yang bertekanan udara tinggi ke tempat lain yang bertekanan udara rendah yang sangat luas dan terjadi pada seluruh lautan di dunia (Gross, M.G, 1990).

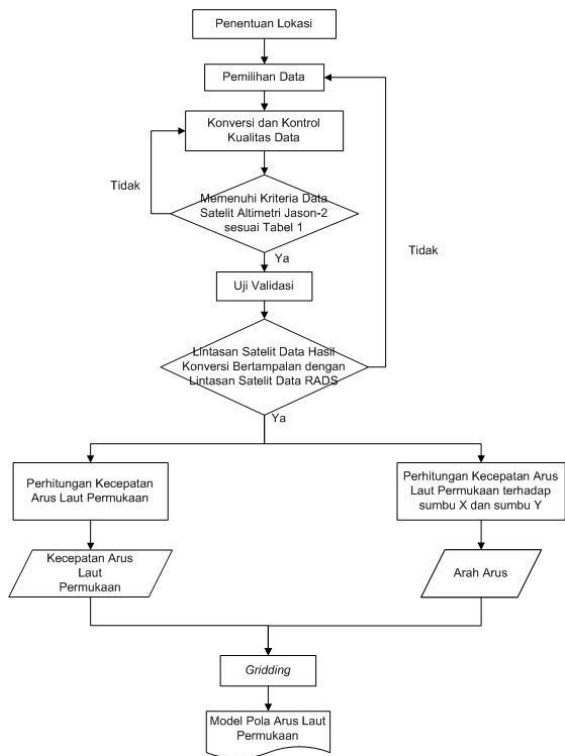
Angin muson merupakan pola angin yang berhembus secara periodik (minimal 3 bulan) dan di antara periode satu dengan periode lain memiliki pola angin yang berlawanan dan berganti arah secara berlawanan setiap setengah tahun. Menurut Triadmodjo (1999) Angin Muson dibagi menjadi 2, yaitu angin muson Barat yang terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari, dan maksimal pada bulan Januari, dan angin muson Timur yang terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus, dan maksimal pada bulan Juli. Disamping itu terdapat masa peralihan yakni masa perubahan dari angin muson Barat ke angin muson Timur atau sebaliknya. Biasanya bertiup antara Maret-Mei dan September-November.

OSTM/Jason-2 merupakan misi lanjutan dari satelit pendahulunya, yaitu Topex/Poseidon (selanjutnya disebut T/P) atau Jason-1. Tujuan utama diluncurkannya satelit ini adalah untuk menghitung topografi muka air laut (*Sea Surface Topography* (SST)) yang kurang lebih datanya memiliki level yang sama dengan data satelit T/P. Data yang dihasilkan oleh satelit Altimetri Jason-2 berupa data *Geophysical Data Record* (GDR), *Interim Geophysical Data Record* (IGDR), dan *Operational Sensor Data Record* (OSDR) (AVISO, 2011)

Pola arus Wyrтки merupakan model arus yang secara komprehensif menggambarkan pola arus seluruh perairan Indonesia. Terdapat 2 buah model arus Wyrтки yaitu model arus untuk bulan Februari dan Agustus.

III. Pelaksanaan Penelitian

Diagram alir pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 1. berikut :



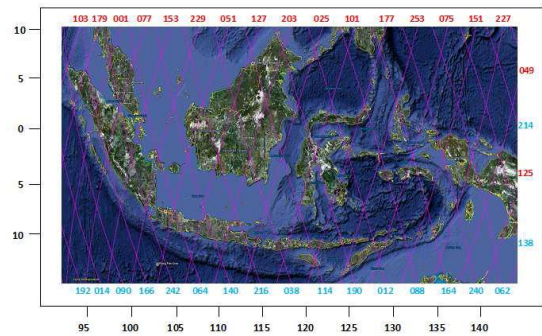
Gambar 1. Diagram alir pengolahan data

III.1. Data dan Lokasi Penelitian

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah :

1. Data hasil ukuran satelit Altimetri Jason-2 dalam format biner GDR yang diproduksi oleh AVISO dengan lama pengamatan lima tahun yaitu tahun 2010-2014. Waktu yang dibutuhkan oleh satelit Jason-2 untuk menyelesaikan 1 cycle adalah 10 hari. Pada satu cycle terdapat 36 pass, yaitu pass 1,12, 14, 25, 27, 36, 38, 49, 51, 63, 64, 75, 77, 88, 90, 101, 103, 112, 114, 125, 138, 140, 151, 153, 164, 166, 177, 179, 190, 203, 105, 214, 216, 227, 229, 240, 242, dan 253.
2. Data pembanding yakni data RADS dari satelit altimetri Jason-2 dengan cycle yang sama.

Pada penelitian ini, periran Indonesia dibagi menjadi 17 wilayah antara lain Periran Sebelah Utara Pulau Sumatera, Laut Cina Selatan, Selat Karimata, Selat Sunda, Laut Jawa, Perairan Sebelah Selatan Pulau Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Sawu, Laut Banda, Laut Timor, Laur Eram, Perairan Utara Pulau Irian Jaya LautHalmahera dan Laut Arafuru.



Gambar 2. Lokasi penelitian dan jalur pass yang melewatinya (Widyastuti, 2010)

III.2. Tahapan Konversi dan Kontrol Kualitas Data

Konversi data dilakukan untuk mengubah data format biner dari satelit Altimetri Jason-2 menjadi data format ASCII. Tujuan dari tahap ini adalah agar data dapat dibaca sehingga parameter-parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan kecepatan arus laut permukaan beserta arah pergerakannya dapat dipilih. Konversi data dilakukan dengan menggunakan software BRAT 3.0.1.

Di dalam proses konversi data terdapat pula kontrol kualitas data yang bertujuan untuk mendapatkan data dengan kualitas yang baik. Adapun kriteria-kriteria yang digunakan untuk mendapatkan data dengan kualitas yang baik dapat dijelaskan pada Tabel 1. berikut ini :

Tabel 1. Kriteria Data Satelit Altimetri Jason-2 (AVISO dan PODAAC, 2011)

No	Macam Data	Kriteria Data
1	Jumlah pengamatan valid dalam band Ku	$range_numval_ku \geq 10$
2	RMS jarak altimeter dalam band Ku	$0\text{ mm} \leq range_rms_ku \leq 200\text{ mm}$
3	Altitude – Range_ku	$-130.000\text{ mm} \leq altitude - range_ku \leq 100.000\text{ mm}$
4	Koreksi troposfer kering	$-2.500\text{ mm} \leq model_dry_tropo_corr \leq -1.900\text{ mm}$
5	Koreksi troposfer basah	$-500\text{ mm} \leq rad_wet_tropo_corr \leq -1\text{ mm}$
6	Koreksi ionosfer	$-400\text{ mm} \leq iono_corr_alt_ku \leq 40\text{ mm}$
7	Bias Elektromagnetik (EMB)	$-500\text{ mm} \leq sea_state_bias_ku \leq 0\text{ mm}$
8	Koreksi pasang surut laut	$-5.000\text{ mm} \leq ocean_tide_sol1 \leq 5.000\text{ mm}$
9	Koreksi pasut pembebanan	$-1.000\text{ mm} \leq solid_earth_tide \leq 1.000\text{ mm}$

Lanjutan Tabel 1. Kriteria Data Satelit Altimetri Jason-2 (AVISO dan PODAAC, 2011)

10	Koreksi pasang surut kutub	$-150 \text{ mm} \leq \text{pole_tide} \leq 150 \text{ mm}$
11	Significant Wave Height	$0 \text{ mm} \leq \text{swh_ku} \leq 11.000 \text{ mm}$
12	Sigma Naught	$7 \text{ dB} \leq \text{sig0_ku} \leq 30 \text{ dB}$
13	Kecepatan angin	$0 \text{ m/s} \leq \text{wind_speed_alt} \leq 30 \text{ m/s}$
14	Square of off nadir angle from waveforms	$-0.2 \text{ deg}^2 \leq \text{off_nadir_angle_ku_wvf} \leq 0.16 \text{ deg}^2$

III.3. Tahap Validasi

Validasi ini bertujuan untuk mengetahui kebenaran dari program konversi data yang telah dibuat pada software BRAT 3.0.1. Untuk keperluan validasi hasil konversi ini, diperlukan data RADS yang akan digunakan sebagai pembandingan dengan data ASCII hasil konversi dari software BRAT 3.0.1. Proses validasi dilakukan dengan melakukan overlay gambar lintasan satelit Altimetri Jason-2 yang ada pada data RADS (sebagai acuan) dengan lintasan satelit altimetri Jason-2 dari hasil konversi. Overlay dilakukan pada sampel yang telah dipilih secara acak.

III.4. Tahap Perhitungan Kecepatan dan Arah Arus Laut

Tahap perhitungan kecepatan dan arah arus laut dilakukan dengan software Microsoft Excel. Proses perhitungan kecepatan arus dilakukan dengan menggunakan data kecepatan angin terhadap sumbu X dan terhadap sumbu Y yang didapat dari satelit Altimetri Jason-2. Perhitungan kecepatan arus laut permukaan dilakukan dengan memanfaatkan data kecepatan angin dari satelit altimetri Jason-2 sesuai dengan persamaan berikut :

$$\bar{U} = \frac{T}{\sqrt{A_z \rho^2 f}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana,

- \bar{U} = Kecepatan arus laut permukaan (cm/s)
- T = Tegangan angin ($T = \rho_{udara} c W^2$) (kg/m s²)
- W = Kecepatan angin (cm/s)
- A_z = Koefisien viskositas eddy ($1,3 \times 10^{-4}$ kg/m s)
- θ = Sudut Lintang (°)
- c = Parameter yang bergantung kepada tingkat turbulensi fluida. Secara umum nilai $c = 2,6 \times 10^{-3}$
- ρ = Densitas air laut (1027 kg/m^3)
- ρ_{udara} = Densitas udara ($1,25 \text{ kg/m}^3$)
- f = Parameter Coriolis ($f = 2 \Omega \sin \theta$)
- Ω = Besarnya kecepatan sudut rotasi bumi yang merupakan sudut yang ditempuh selama sehari atau 2π dibagi hari sideris 23 jam 56 menit atau 86160 sekon, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2) berikut :

$$\Omega = \frac{2\pi}{86160} = 7,29 \times 10^{-5} \text{ rad/s} \dots\dots\dots(2)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan arus laut terhadap sumbu X dan kecepatan arus laut terhadap sumbu Y. Persamaan (3) dan (4) berikut merupakan persamaan Stewart untuk mendapatkan kecepatan arus laut permukaan terhadap sumbu X.

$$\frac{V_{Angin} (cm/s)}{u_{Angin} (cm/s)} = \frac{V_{Arus} (cm/s)}{u_{Arus} (cm/s)} \dots\dots\dots(3)$$

$$u_{Arus} (cm/s) = \frac{(V_{Arus} (cm/s) \times u_{Angin} (cm/s))}{V_{Angin} (cm/s)}$$

.....(4)

Sedangkan persamaan (5) dan (6) berikut merupakan persamaan Stewart untuk mendapatkan kecepatan arus laut permukaan terhadap sumbu Y.

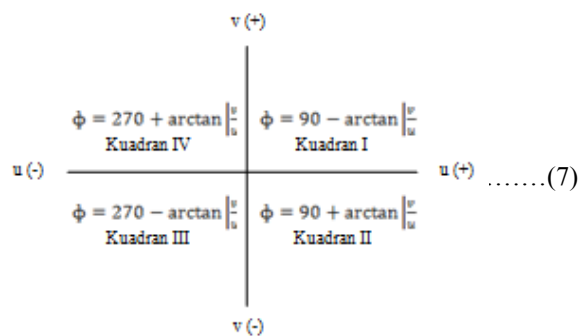
$$\frac{V_{Angin} (cm/s)}{v_{Angin} (cm/s)} = \frac{V_{Arus} (cm/s)}{v_{Arus} (cm/s)} \dots\dots\dots(5)$$

$$v_{Arus} (cm/s) = \frac{(V_{Arus} (cm/s) \times v_{Angin} (cm/s))}{V_{Angin} (cm/s)}$$

.....(6)

- dimana,
- V_{Angin} = Kecepatan Angin dari data satelit Jason- 2
- u_{Angin} = Kecepatan Angin terhadap sumbu X dari data satelit Jason-2
- V_{Arus} = Kecepatan Arus dari hasil perhitungan
- u_{Arus} = Kecepatan Arus terhadap sumbu X
- v_{Arus} = Kecepatan Arus terhadap sumbu Y

Setelah mendapatkan kecepatan arus laut permukaan terhadap sumbu X dan sumbu Y, kita bisa mengetahui kemana arah arus laut bergerak dengan menggunakan persamaan kuadran arus seperti yang ditunjukkan pada persamaan (7) berikut :



- dimana,
- ϕ = Arah arus
- v = Kecepatan Arus terhadap sumbu Y
- u = Kecepatan Arus terhadap sumbu X

III.5. Tahap Gridding

Tahap gridding dilakukan menggunakan software Surfer 9. Metode gridding yang digunakan adalah metode Inverse Distance Weighted, dimana metode interpolasi ini mampu menghasilkan nilai interpolasi grid yang baik pada titik estimasi yang

ada pada lingkup daerah pemodelan. Interval *grid* dibentuk setiap 0,5°x0,5° sehingga jarak antar pengamatannya adalah ± 55,50 km x 55,50 km (1° = 111 km).

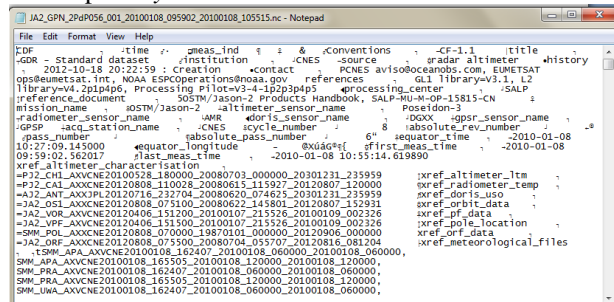
III.6. Tahap Pemodelan

Tahap pemodelan dilakukan menggunakan *software Surfer 9*. Pada tahap ini akan dihasilkan model pola arus laut permukaan di perairan Indonesia dan memberikan analisa mengenai pola arus laut permukaan di perairan Indonesia pada tahun 2010-2014. Bentuk analisanya yakni analisa tiap *cycle* yang difokuskan pada wilayah arus lintas Indonesia serta perairan yang berbatasan dengan Samudera. Bentuk analisanya yakni analisa pergerakan arus laut yang didasarkan pada model arus Wyrтки, serta pergerakan angin yakni angin muson barat dan angin muson timur serta masa peralihan pergantian arah angin.

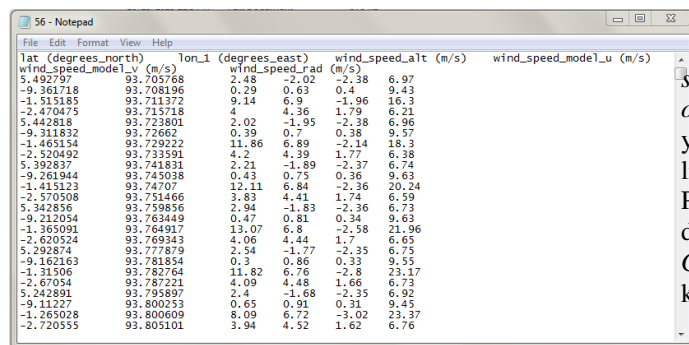
IV. Hasil dan Analisis

IV.1 Hasil Konversi Data

Data yang dikonversikan adalah data satelit Altimetri Jason-2 hasil *download* yang berformat biner menjadi data dengan format ASCII. Hal ini dilakukan agar parameter-parameter dalam data Satelit Altimetri Jason-2 dapat dibaca oleh perangkat lunak dan kemudian dapat diolah. *Gambar 3*. dan 4. berikut menunjukkan perbedaan data biner dan data ASCII pada *cycle 56*.

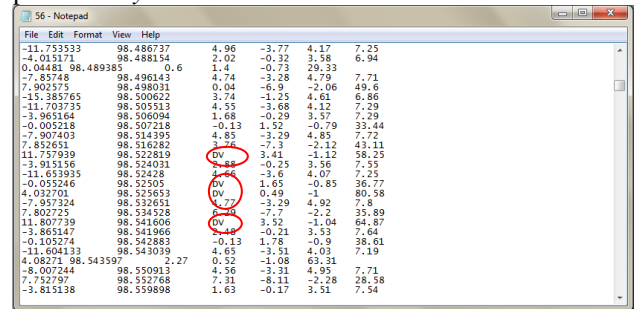


Gambar 3. Data biner *cycle 56* sebelum dilakukan proses konversi



Gambar 4. Data ASCII *cycle 56* setelah dikonversi dengan *software BRAT 3.0.1*

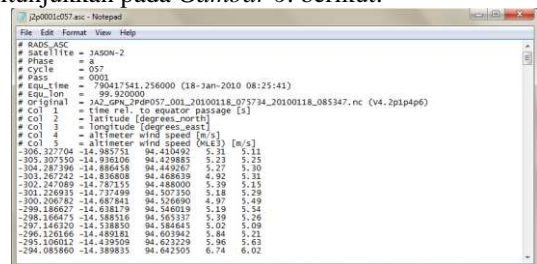
Dalam tahap konversi data juga terdapat proses kontrol kualitas data. Tujuan dari kontrol kualitas data ini adalah untuk mendapatkan data yang memiliki kualitas baik. Pada proses konversi dengan BRAT 3.0.1, data yang sesuai dengan kriteria (lihat *Tabel 1*) akan dibaca sebagai data ASCII, sedangkan data yang tidak sesuai dengan kriteria akan dibaca sebagai *Daily Values(DV)*. Data yang dibaca sebagai DV harus dihapus, agar saat melakukan tahap perhitungan kecepatan dan arah arus tidak terjadi kesalahan. *Gambar 5.* berikut menunjukkan data yang tidak sesuai kriteria, sebagai *sample* diambil pada data *cycle 56*.



Gambar 5. Data *cycle 56* yang tidak sesuai kriteria

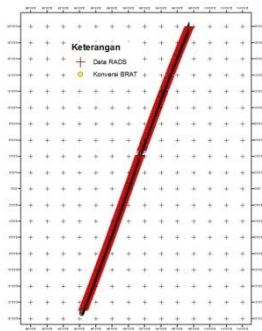
IV.2. Validasi Hasil Konversi Data

Proses Validasi bertujuan untuk mengetahui apakah data ASCII hasil konversi *software BRAT 3.0.1* sudah benar atau belum. Pada proses ini diperlukan data RADS sebagai pembanding data ASCII hasil konversi. Tampilan data RADS ditunjukkan pada *Gambar 6.* berikut:



Gambar 6. Data RADS pada *cycle 57*

Proses validasi data hasil konversi dari *software BRAT 3.0.1* dilakukan dengan melakukan *overlay* gambar lintasan satelit Altimetri Jason-2 yang ada pada data RADS (sebagai acuan) dengan lintasan satelit altimetri Jason-2 dari hasil konversi. Proses *overlay* dilakukan pada sampel yang telah dipilih secara acak, yaitu pada *cycle 068 pass 001*. *Gambar 7* berikut menunjukkan hasil dari *overlay* kedua lintasan tersebut.

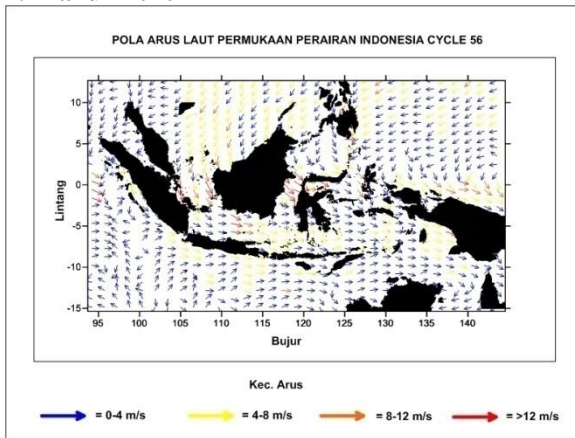


Gambar 7. Validasi konversi data BRAT dan RADS cycle 068 pass 001

Dari hasil *overlay* kedua data diatas, dapat dilihat bahwa grafik lintasan satelit Altimetri Jason-2 dari data hasil konversi *software* BRAT 3.0.1 berhimpit atau bertampalan dengan data dari RADS. Dari proses validasi ini dapat disimpulkan bahwa program konversi data yang telah dihasilkan adalah benar.

IV.3. Hasil dan Analisis Pola Arus Laut Permukaan Perairan Indonesia Berdasarkan Arah Pergerakan Angin

1. Tahun 2010

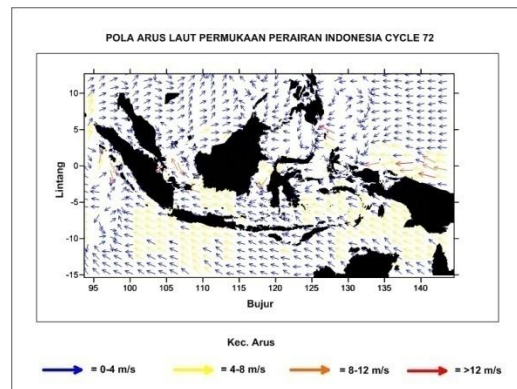


Gambar 8. Pola Arus cycle 56

Berdasarkan pemodelan pola pergerakan arus laut *cycle* 56 tahun 2010 dapat di analisis bahwa saat terjadi angin muson Barat angin bertiup dari Barat menuju Timur, sehingga arus juga bergerak dari arah Benua Asia menuju ke Benua Australia. Pola arus laut *cycle* 56 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Barat menuju Timur, dan bergerak dari arah Benua Asia menuju ke Benua Australia. Pergerakan arus laut permukaannya yakni :

1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di perairan sebelah Barat Pulau Sumatera, Laut Jawa, Perairan sebelah Selatan

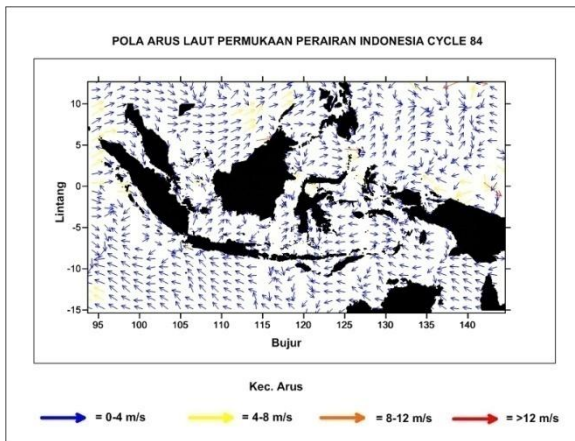
2. Arus sedang dengan kecepatan 4-8 m/detik bergerak di perairan Laut Cina Selatan, Selat Sunda, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Sawu, sebagian perairan sebelah Utara Pulau Papua, dan sebagian Laut Arafuru.
3. Arus kuat dengan kecepatan 8-12 m/detik bergerak di sebagian perairan sebelah Utara Pulau Papua, dan sebagian Laut Arafuru.
4. Arus sangat kuat dengan kecepatan >12 m/detik bergerak di Selat Makassar.



Gambar 9. Pola Arus cycle 72

Berdasarkan pemodelan pola pergerakan arus laut *cycle* 72 tahun 2010 dapat di analisis bahwa saat terjadi angin muson Timur angin bertiup dari arah Timur menuju Barat, sesuai dengan pergerakan angin yakni dari Benua Australia ke Benua Asia. Pola arus laut *cycle* 72 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Timur menuju Barat, dan bergerak dari arah Benua Australia menuju ke Benua Asia. Pergerakan arus laut permukaannya yakni :

1. Arus lemah bergerak dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di perairan Laut Cina Selatan, Selat Karimata, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Timor, Laut Seram, Laut Halmahera, dan di Perairan sebelah Barat Pulau Sumatera.
2. Arus sedang dengan kecepatan 4-8 m/detik bergerak di perairan Selat Sunda, Laut Jawa, perairan sebelah Selatan Pulau Jawa, Selat Makassar, Laut Sawu, Laut Banda, Laut Arafuru, sebagian perairan sebelah Utara Pulau Papua, dan sebagian perairan sebelah Barat Pulau Sumatera.
3. Arus laut kuat dengan kecepatan 8-12 m/detik bergerak di sebagian perairan sebelah Barat Pulau Sumatera, dan sebagian perairan sebelah Utara Pulau Papua.
4. Arus laut sangat kuat dengan kecepatan >12 m/detik bergerak di sebagian perairan sebelah Utara Pulau Papua.

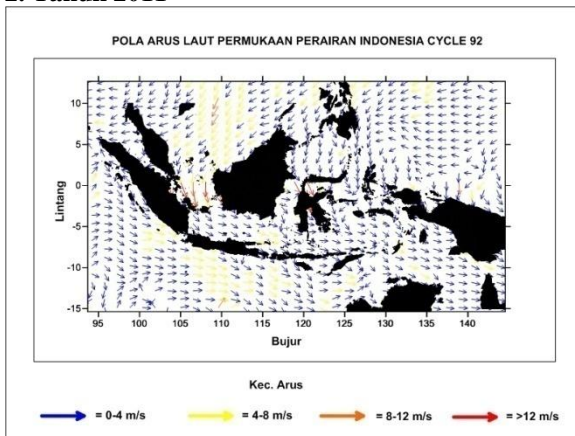


Gambar 10. Pola Arus cycle 84

Pada Oktober 2010 merupakan masa peralihan antara angin muson Timur ke angin muson Barat, sehingga pergerakan arus tidak teratur karena angin yang bergerak pun tidak terarah. Pergerakan arus laut permukaannya yakni :

1. Untuk perairan sebelah Utara Pulau Papua dan perairan sebelah Utara Pulau Sulawesi kecepatan arus laut bervariasi antara 4-12 m/detik.
2. Sedangkan untuk perairan yang lain di Indonesia, kecepatan arus lautnya lemah yakni sebesar 0-4 m/detik.

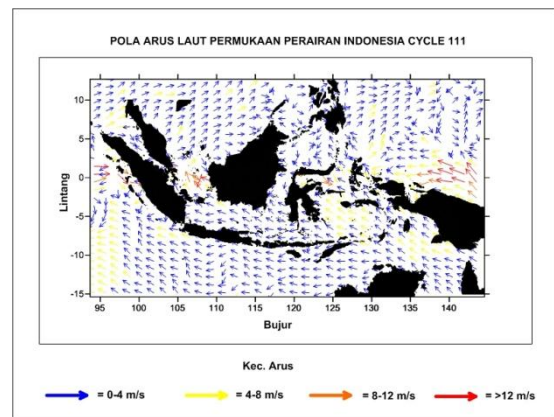
2. Tahun 2011



Gambar 11. Pola Arus cycle 92

Berdasarkan pemodelan pola pergerakan arus laut cycle 92 tahun 2011 dapat di analisis bahwa saat terjadi angin muson Barat angin bertiup dari Barat menuju Timur, sehingga arus juga bergerak dari arah Benua Asia menuju ke Benua Australia. Pola arus laut cycle 92 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Barat menuju Timur, dan bergerak dari arah Benua Asia menuju ke Benua Australia. Pergerakan arus laut permukaannya yakni :

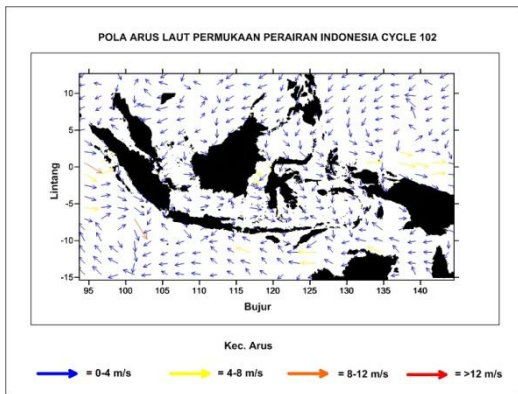
1. Arus sedang dengan kecepatan 4-8 m/detik bergerak di perairan Laut Cina Selatan dan Selat Sunda.
2. Pada perairan Laut Jawa, perairan sebelah Selatan Pulau Jawa, dan perairan sebelah Utara Pulau Papua kecepatan arus berkisar antara 0-8 m/detik.
3. Arus sangat kuat dengan kecepatan >12 m/detik bergerak di perairan Selat Karimata.
4. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di wilayah Perairan Indonesia lainnya.



Gambar 12. Pola Arus cycle 111

Pada Juli 2011, di wilayah Indonesia sedang terjadi angin muson Timur, hal ini menyebabkan arus permukaan laut umumnya bergerak dari Benua Australia menuju Benua Asia. Pola arus laut cycle 111 Tahun 2011 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Timur menuju Barat, dan bergerak dari arah Benua Australia menuju ke Benua Asia dengan pergerakan arus di beberapa wilayah di Indonesia yakni :

1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di wilayah perairan Laut Cina Selatan, Laut Jawa, perairan sebelah Selatan Pulau Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Sawu, dan Laut Timor.
2. Wilayah Perairan sebelah Barat Pulau Sumatera dan perairan sebelah Utara Pulau Papua memiliki kecepatan arus dengan kisaran 4->12 m/detik.
3. Laut Halmahera mempunyai kecepatan arus 0-8 m/detik.

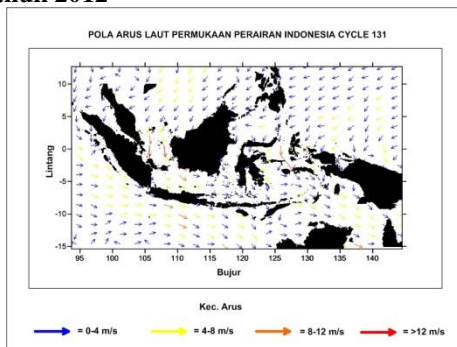


Gambar 13. Pola Arus cycle 102

Pada April 2011 merupakan masa peralihan antara angin muson Barat ke angin muson Timur, sehingga pergerakan arus tidak teratur karena angin yang bergerak pun tidak terarah. Pergerakan arus laut permukaannya yakni:

1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik mendominasi perairan di Indonesia terutama bagian tengah.
2. Sedangkan untuk perairan sebelah Utara Pulau Papua kecepatan arus laut sedang dengan kecepatan 4-8 m/detik.

3. Tahun 2012

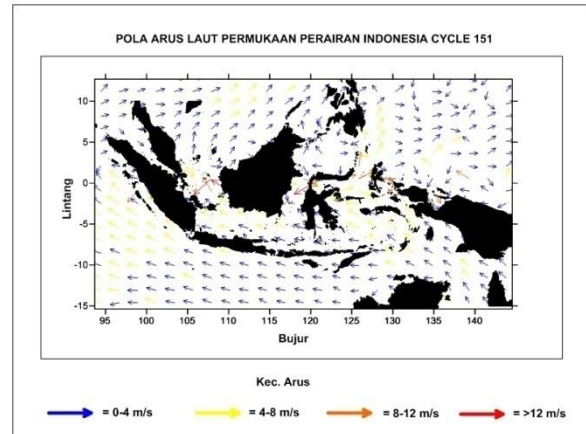


Gambar 14. Pola Arus cycle 131

Pada Januari 2012, saat terjadi angin muson Barat angin cenderung bergerak dari Benua Asia menuju Benua Australia. Pola arus laut cycle 131 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Barat menuju Timur, dan bergerak dari arah Benua Asia menuju ke Benua Australia. Pergerakan arus laut permukaannya yakni :

1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di perairan Selat Sunda, Laut Flores, Laut Sawu, Laut Halmahera.
2. Arus sedang dengan kecepatan 4-8 m/detik bergerak di perairan sebelah Barat pulau Sumatera, Laut Arafuru. Sedangkan Beberapa wilayah perairan seperti Laut Cina Selatan, Laut Sulawesi, Laut Banda, Laut Timor, dan Laut Seram kecepatan arusnya berkisar antara 0-8 m/detik.

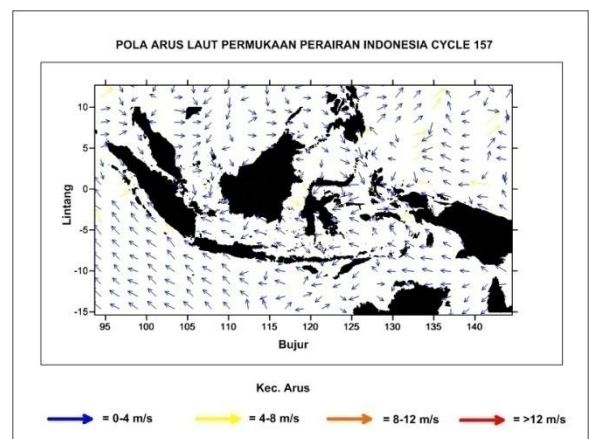
3. Wilayah dengan kecepatan arus kuat dengan kecepatan berkisar antara 0->12 m/detik, terdapat pada perairan Selat Karimata, Laut Maluku, dan perairan sebelah Utara pulau Papua.



Gambar 15. Pola Arus cycle 151

Pada Agustus 2012, saat terjadi angin muson Timur angin bergerak dari Benua Australia menuju Benua Asia. Pola arus laut cycle 151 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Barat menuju Timur dengan pergerakan arus di beberapa wilayah di Indonesia yakni :

1. Arus lemah dengan bergerak di perairan Laut Cina Selatan, Selat Sunda, Laut Jawa, perairan sebelah Selatan Pulau Jawa, Laut Sulawesi, Laut Flores, Laut Sawu, Laut Timor, perairan sebelah Utara Pulau Papua, dan Laut Arafuru.
2. Arus sedang meliputi perairan sebelah Barat Pulau Sumatera, Laut Banda, Laut Seram, dan Laut Halmahera.
3. Sedangkan wilayah perairan Selat Karimata, Selat Makassar, dan Laut Maluku mempunyai kecepatan arus kuat.



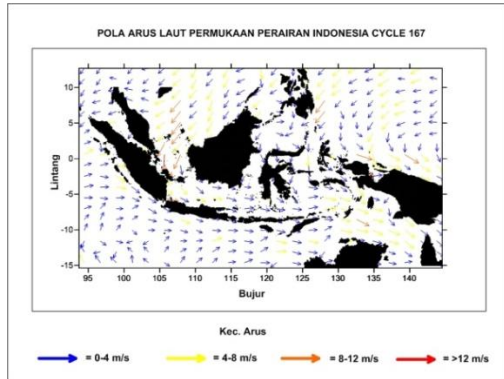
Gambar 16. Pola Arus cycle 157

Pada Oktober 2012 merupakan masa peralihan antara angin muson Timur ke angin muson Barat,

sehingga pergerakan arus tidak teratur karena angin yang bergerak pun tidak terarah. Pergerakan arus laut permukaannya yakni :

1. Arus lemah dengan kecepatan arus berkisar antara 0-4 m/detik bergerak di hampir seluruh wilayah perairan Indonesia.
2. Arus sedang dengan kecepatan 4-8 m/detik hanya terjadi di perairan sebelah Utara Pulau Papua.

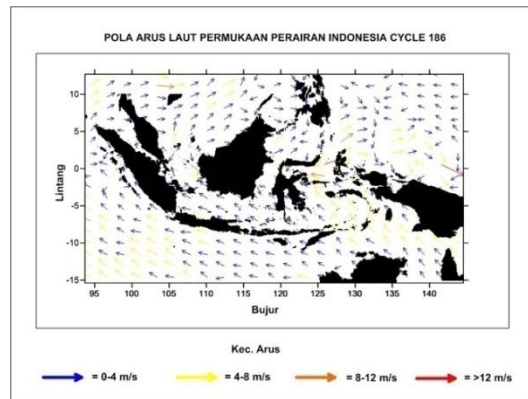
4. Tahun 2013



Gambar 17. Pola Arus cycle 157

Pada Januari 2013, saat terjadi angin muson Barat angin cenderung bergerak dari Benua Asia menuju Benua Australia. Pola arus laut cycle 167 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Barat menuju Timur, dan bergerak dari arah Benua Asia menuju ke Benua Australia dan pergerakan arus di beberapa wilayah di Indonesia yakni :

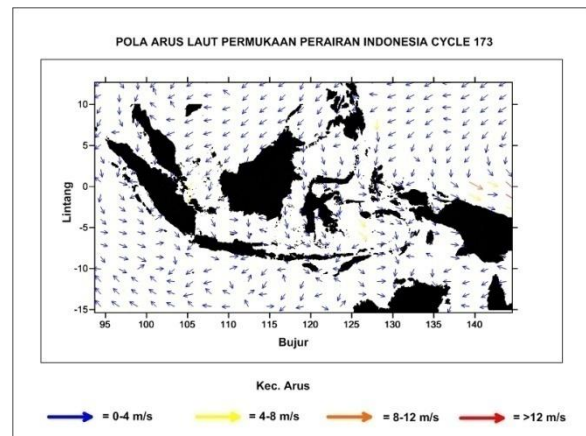
1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di perairan Selat Sunda, Perairan sebelah Selatan Pulau Jawa, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Sawu, Laut Banda, Laut Timor, dan Laut Halmahera.
2. Arus sedang dengan kecepatan 4-8 m/detik bergerak di perairan sebelah Barat Pulau Sumatera, Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Flores, Laut Seram, dan Laut Arafuru.
3. Pada wilayah perairan Laut Cina Selatan, Selat Karimata, dan perairan sebelah Utara Pulau Papua mempunyai kecepatan arus yang kuat.



Gambar 18. Pola Arus cycle 186

Pada Juli 2013, saat terjadi angin muson Timur angin cenderung bergerak dari Benua Australia menuju Benua Asia. Pola arus laut cycle 186 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Timur menuju Barat dan bergerak dari Benua Australia menuju Benua Asia dengan pergerakan arus di beberapa wilayah di Indonesia yakni :

1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di perairan sebelah Barat Pulau Sumatera, Laut Cina Selatan, Laut Flores, Laut Sawu, dan Laut Timor.
2. Arus sedang dengan kecepatan 4-8 m/detik bergerak di perairan Selat Karimata, Selat Sunda, Selat Makassar, dan Laut Arafuru. Sedangkan pada perairan Laut Jawa dan perairan sebelah Selatan Pulau Jawa kecepatan arus berkisar antara 0-8 m/detik.
3. Arus kuat dengan kecepatan 8-12 m/detik bergerak di perairan Laut Sulawesi, Laut Banda, dan Laut Halmahera.
4. Arus sangat kuat dengan kecepatan >12 m/detik bergerak di perairan Laut Maluku, Laut Seram, dan perairan sebelah Utara pulau Papua.

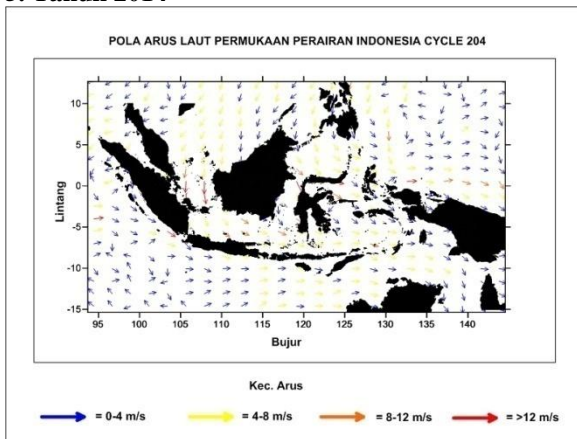


Gambar 19. Pola Arus cycle 173

Pada Maret 2013 merupakan masa peralihan antara angin muson Barat ke angin muson Timur, sehingga pergerakan arus tidak teratur karena angin yang bergerak pun tidak terarah. Pergerakan arus laut permukaannya yakni:

1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di hampir seluruh wilayah perairan Indonesia.
2. Kecepatan arus sedang dan kuat hanya terjadi pada perairan Laut Banda dan perairan sebelah Utara Pulau Papua.

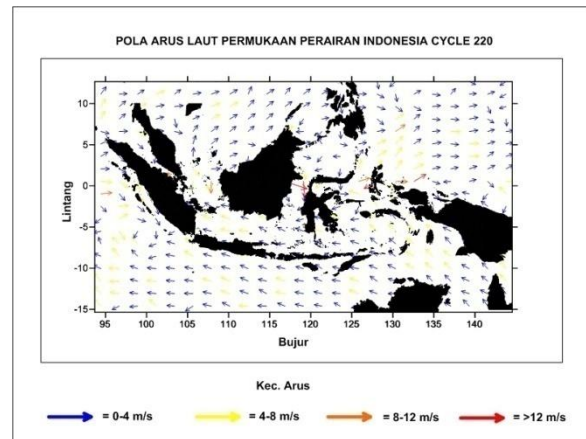
5. Tahun 2014



Gambar 20. Pola Arus cycle 204

Pada Januari 2014, saat terjadi angin muson Barat angin cenderung bergerak dari Benua Asia menuju Benua Australia. Pola arus laut cycle 204 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Barat menuju Timur dan bergerak dari Benua Asia menuju Benua Australia dengan pergerakan arus di beberapa wilayah di Indonesia yakni :

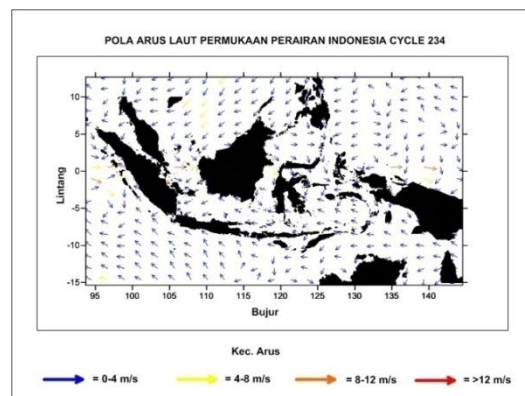
1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di perairan sebelah Barat Pulau Sumatera dan Selat Makassar.
2. Arus sedang dengan kecepatan 4-8 m/detik bergerak di perairan Laut Cina Selatan, Selat Sunda, Laut Sawu, dan Laut Banda. Sedangkan pada perairan sebelah Selatan Pulau Jawa, Laut Timor, Laut Halmahera, dan Laut Arafuru kecepatan arus berkisar antara 0-8 m/detik.
3. Arus kuat terdapat pada perairan Laut Jawa dan Laut Sulawesi.
4. Pada perairan Selat Karimata dan Laut Maluku terdapat arus dengan kecepatan sangat kuat, sedangkan pada perairan sebelah Utara Pulau Papua kecepatan arus berkisar antara 0->12 m/detik.



Gambar 21. Pola Arus cycle 220

Pada Juni 2014, saat terjadi angin muson Timur angin cenderung bergerak dari Benua Australia menuju Benua Asia. Pola arus laut cycle 220 di atas telah menunjukkan bahwa arus laut berhembus dari arah Barat menuju Timur dan bergerak dari Benua Australia menuju Benua Asia dengan pergerakan arus di beberapa wilayah di Indonesia yakni :

1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di perairan Laut Cina Selatan, Laut Sulawesi, Laut Flores, Laut Sawu, dan Laut Timor.
2. Pada perairan Selat Sunda, Laut Jawa, perairan sebelah Selatan Pulau Jawa, perairan sebelah Utara Pulau Papua, Laut Halmahera, dan Laut Arafuru mempunyai kecepatan arus berkisar antar 0-8 m/detik. Sedangkan pada perairan Laut Banda kecepatan arus berkisar antara 4-8 m/detik. Pada perairan sebelah Barat Pulau Sumatera, Selat Karimata, Laut Maluku, dan Laut Seram arus bergerak dengan kecepatan 4-12 m/detik. Sedangkan pada perairan Selat Makassar arus bergerak dengan kecepatan sangat kuat, yakni >12 m/detik.



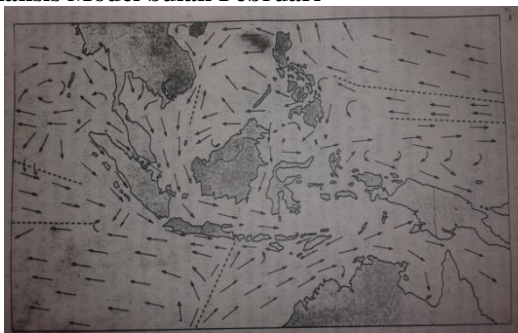
Gambar 22. Pola Arus cycle 234

Pada November 2014 merupakan masa peralihan angin muson Timur ke angin muson Barat, sehingga pergerakan arus tidak teratur karena angin yang bergerak pun tidak terarah. Pergerakan arus laut permukaannya yakni:

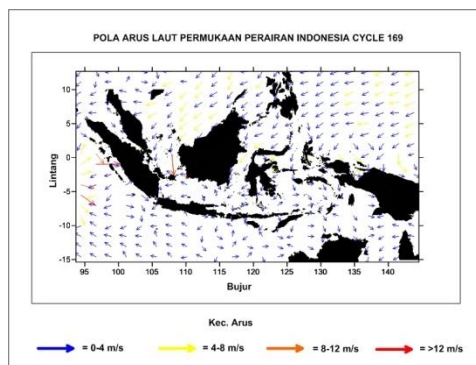
1. Arus lemah dengan kecepatan 0-4 m/detik bergerak di hampir seluruh wilayah perairan Indonesia.
2. Kecepatan arus sedang hanya terjadi di perairan sebelah Barat Pulau Sumatera, Selat Karimata, dan perairan sebelah Utara Pulau Papua.

IV.4. Analisis Hasil Pemodelan dengan Model Arus Wyrтки

1. Analisis Model bulan Februari



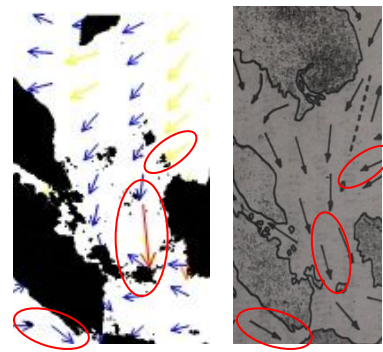
Gambar 23. pola arus Wyrтки bulan Februari (Wyrтки, 1961)



Gambar 24. Pola arus hasil pemodelan bulan Februari

Jika dibandingkan pola arus laut hasil pemodelan cycle 169 dengan model arus Wyrтки di bulan Februari terdapat beberapa kemiripan. Perbandingannya di beberapa perairan di Indonesia antara lain :

1. Perbandingan pola arus hasil pemodelan dengan pola arus Wyrтки di Selat Karimata ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gambar di atas menunjukkan adanya beberapa kemiripan antara pola arus hasil pemodelan dengan model arus Wyrтки di Selat Karimata. Pada model arus Wyrтки terlihat pergerakan arah arus yang konstan dari Utara (Laut Cina Selatan) menuju Selatan (Laut Jawa). Secara garis besar, pola arus hasil pemodelan menunjukkan arah yang mengikuti Model Arus Wyrтки.

2. Perbandingan pola arus hasil pemodelan dengan pola arus Wyrтки di sekitar pulau Jawa ditunjukkan pada Gambar berikut :



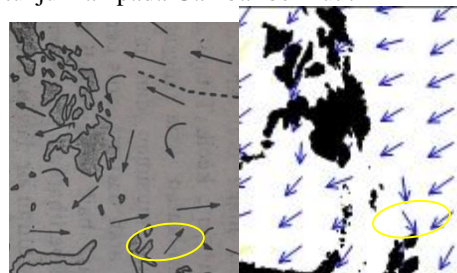
Gambar di atas menunjukkan kemiripan pola arah arus dimana pada sekitar Selat Sunda arus cenderung bergerak menuju arah Tenggara, mengarah ke benua Australia. Sedangkan di perairan Selatan Pulau Jawa arah arus cenderung bergerak menuju 2 arah, ke Barat maupun ke Timur.

3. Perbandingan pola arus hasil pemodelan dengan pola arus Wyrтки di perairan sebelah Utara Pulau Papua ditunjukkan pada Gambar. berikut :



Gambar di atas menunjukkan kemiripan pola arus dimana pada perairan sebelah Utara Pulau Papua cenderung bergerak ke arah Timur.

4. Perbandingan pola arus hasil pemodelan dengan pola arus Wyrтки di perairan Laut Halmahera ditunjukkan pada Gambar berikut :

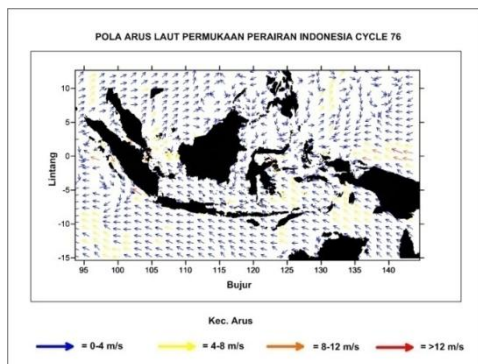


Gambar di atas menunjukkan perbedaan pola arus hasil pemodelan dengan pola arus Wyrтки di perairan Halmahera, dimana pada pola arus hasil pemodelan arah arus cenderung bergerak ke arah Barat, sedangkan pola arus Wyrтки menunjukkan arah arus cenderung bergerak ke arah Timur.

2. Analisis Model Bulan Agustus



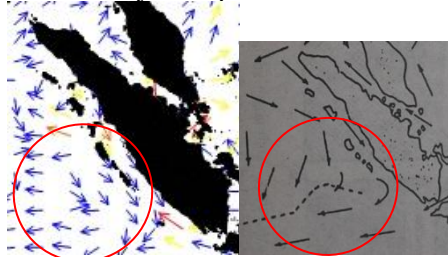
Gambar 25. pola Arus Wyrтки bulan Agustus (Wyrтки, 1961)



Gambar 26. pola Arus hasil pemodelan bula Agustus

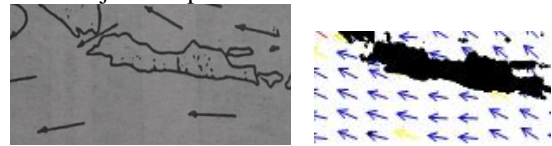
Jika dibandingkan pola arus laut hasil pemodelan cycle 76 dengan model arus Wyrтки di bulan Februari terdapat beberapa kemiripan. Perbandingannya di beberapa perairan di Indonesia antara lain :

1. Perbandingan pola arus hasil pemodelan dengan pola arus Wyrтки di perairan sebelah Barat Pulau Sumatera ditunjukkan pada Gambar berikut:



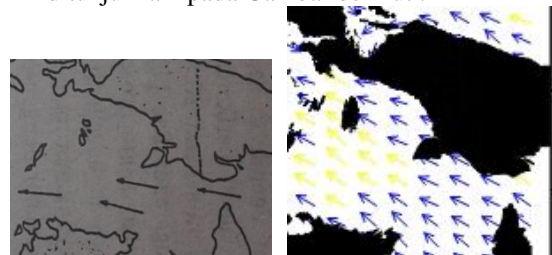
Gambar di atas menunjukkan bahwa pola arus di perairan sebelah Barat Pulau Sumatera baik pada pola arus hasil pemodelan maupun pola arus Wyrтки cenderung tidak beraturan dan membentuk pola circular searah jarum jam.

2. Perbandingan pola arus hasil pemodelan dengan pola arus Wyrтки di perairan sekitar Pulau Jawa ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gambar di atas menunjukkan bahwa pola arus di perairan sekitar Pulau Jawa baik pada pola arus hasil pemodelan maupun pola arus Wyrтки cenderung bergerak ke arah Barat.

3. Perbandingan pola arus hasil pemodelan dengan pola arus Wyrтки di perairan Laut Arafuru ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gambar di atas menunjukkan bahwa pola arus di perairan Laut Arafuru baik pada pola arus hasil pemodelan maupun pola arus Wyrтки cenderung bergerak ke arah Barat menuju arah benua Asia.

4. Perbandingan pola arus hasil pemodelan dengan pola arus Wyrтки di perairan Laut Halmahera ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gambar di atas menunjukkan bahwa pola arus di perairan Laut Halmahera baik pada pola arus hasil pemodelan maupun pola arus Wyrтки cenderung memiliki arah gerak yang sama meskipun pada pola arus hasil pemodelan terdapat arah arus yang kompleks.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisis Pola Arus Laut Permukaan Perairan Indonesia Dengan Menggunakan Satelit Altimetri Jason-2 Tahun 2012-2014, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil pemodelan arus laut permukaan perairan Indonesia dari data satelit Altimetri Jason-2 pada tahun 2010-2014, didapatkan 3 kecenderungan arah arus laut permukaan, yaitu dari arah benua Asia menuju benua Australia, dari

arah benua Australia menuju benua Asia, dan arah arus tidak teratur. Hal ini tak terlepas dari peran angin yang melewati permukaan air laut di Indonesia.

2. a) Pola arus laut permukaan perairan Indonesia berdasar pergerakan angin disimpulkan sebagai berikut :

Saat terjadi angin muson Barat yaitu pada bulan Desember-Februari angin bertiup dari Barat menuju Timur, sehingga arus juga bergerak dari arah Benua Asia menuju ke Benua Australia. Pada saat terjadi angin muson Timur yaitu pada bulan Juni-Agustus angin bertiup dari arah Timur menuju Barat, sehingga arus juga bergerak dari arah Benua Australia menuju ke Benua Asia. Sedangkan saat terjadi musim peralihan baik saat peralihan dari muson Barat ke muson Timur yaitu pada bulan Maret-Mei maupun saat peralihan dari muson Timur ke muson Barat yaitu pada bulan September-November pergerakan arus tidak teratur dan cenderung terbagi menjadi dua arah yakni dari Benua Asia menuju Benua Australia dan dari Benua Australia menuju Benua Asia namun kecepatan arusnya rata-rata adalah lemah di hampir seluruh perairan di Indonesia.

- b) Pola arus laut permukaan perairan Indonesia hasil pemodelan bila dibandingkan dengan model arus Wyrтки disimpulkan sebagai berikut :

Pola arus laut permukaan hasil pemodelan menunjukkan beberapa arah arus yang tidak mengikuti model arus Wyrтки, namun terdapat juga beberapa arah arus yang memiliki kemiripan dan mengikuti model arus Wyrтки di lokasi perairan yang dijadikan sampel seperti di Laut Arafuru, perairan sekitar pulau Jawa, perairan sebelah barat pulau Sumatera, perairan sebelah utara pulau Papua, dan Selat Karimata.

V.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diajukan antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penambahan analisis dalam hal faktor pembangkit arus.
2. Untuk data pembandingan model arus di wilayah perairan Indonesia sebaiknya menggunakan model arus dari referensi atau publikasi ilmiah tentang arus permukaan di wilayah Indonesia terbaru.
3. Dengan adanya data pola arus laut permukaan, diharapkan kepada pemerintah untuk dapat memanfaatkannya sebagai data awal pembangkit listrik tenaga arus.

Daftar Pustaka

- AVISO dan PODAAC. 2011. *User Handbook IGDR and GDR Products edition 2.0*. NASA dan CNES.
- Gross, M.G.1990. *Oceanography : A View of Earth*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliff. New Jersey.
- Janhidros. 2006, Luas Wilayah Daratan Dan Perairan Indonesia. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-8369-3505100039-Bab1.pdf> diakses pada tanggal 18 Juli 2015
- Triatmodjo,B. 1999. Teknik Pantai. Yogyakarta : Beta Offset.
- Widiastuti, R. 2010. Pemodelan Pola Arus Laut Permukaan Di Perairan Indonesia Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Periode 2002-2009. Surabaya : Tugas Akhir Program Studi Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-ITS.
- Wyrтки, K., *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters* (California: The University of California Scripps Institution of Oceanography La Jolla, 1961).