

Pemodelan Numerik Sirkulasi Arus Tiga Dimensi di Perairan Kepulauan Spermonde Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan

Andi Galsan Mahie*

Abstrak

Sirkulasi arus tiga dimensi di perairan Kepulauan Spermonde Kabupaten Pangkep telah disimulasikan dengan menggunakan model numerik hidrodinamika. Model studi terfokus pada simulasi profil kecepatan horizontal dan pola sirkulasi arus pada permukaan hubungannya dengan pola musim yang disebabkan oleh pergerakan angin yang terjadi di daerah Kepulauan Spermonde. Simulasi ini dilakukan selama empat musim yaitu: monsun barat (Januari), peralihan I (April), monsun timur (Juli) dan peralihan II (Oktober). Hasil dari simulasi model sirkulasi arus yang dibangkitkan oleh angin dengan perwakilan 4 musim yang dominan diperoleh bahwa untuk lapisan permukaan pola angin dan pola arus mempunyai kemiripan dalam arah akan tetapi dari magnitudo agak berbeda dimana kecepatan angin rata-rata lebih besar dari pada kecepatan arus rata-rata untuk tiap musim. Untuk zona dangkal pola arus masih sangat dipengaruhi oleh topografi daerah model terjadi pengurangan kecepatan arus rata-rata mengikuti kedalaman daerah perairan.

Kata Kunci: Pemodelan numerik hidrodinamika, Kepulauan Spermonde, sirkulasi arus.

1. Pendahuluan

Sirkulasi arus laut sangat berhubungan dengan aktivitas manusia dan biota yang ada di dalamnya. Pembangunan pelabuhan, merupakan contoh jika sirkulasi arus laut sangat penting untuk diketahui, karena syarat untuk membangun sebuah pelabuhan adalah mengetahui karakteristik pola sirkulasi arus. Selain itu sirkulasi arus laut juga sangat berguna untuk pembangunan daerah pantai untuk dijadikan daerah pariwisata. Hal lain, arus laut juga mempengaruhi distribusi dan interaksi spesies ikan yang hidup di suatu perairan dimana larva ikan sangat bergantung pada pola sirkulasi arus.

Kepulauan Spermonde merupakan salah satu wilayah penyebaran terumbu karang yang cukup luas (150 km²). Hampir seluruh pulau yang ada ditumbuhi oleh terumbu karang tepi dan terumbu karang penghalang. Ini memberikan kontribusi yang besar pada sumber hayati laut. Bentuk terumbu karang tidak terlalu bervariasi, mungkin karena pengaruh musim angin yang selalu bertiup dari arah barat-laut yang berlangsung dari bulan September-Maret (musim penghujan). Sebaliknya pada bulan April-September bertiup angin selatan tenggara membawa pengaruh dari daratan Sulawesi Selatan (de Klerk, 1983).

Hampir setiap pulau memiliki rataan terumbu yang sangat luas di sisi barat, sedang sisi selatan luas terumbu karang hampir sama atau sedikit lebih kecil dari terumbu sisi barat. Di sisi utara luas terumbu karang kadang-kadang setengah atau kurang dari luas terumbu karang sisi barat. Hampir semua pulau memiliki terumbu yang sempit di sisi timur.

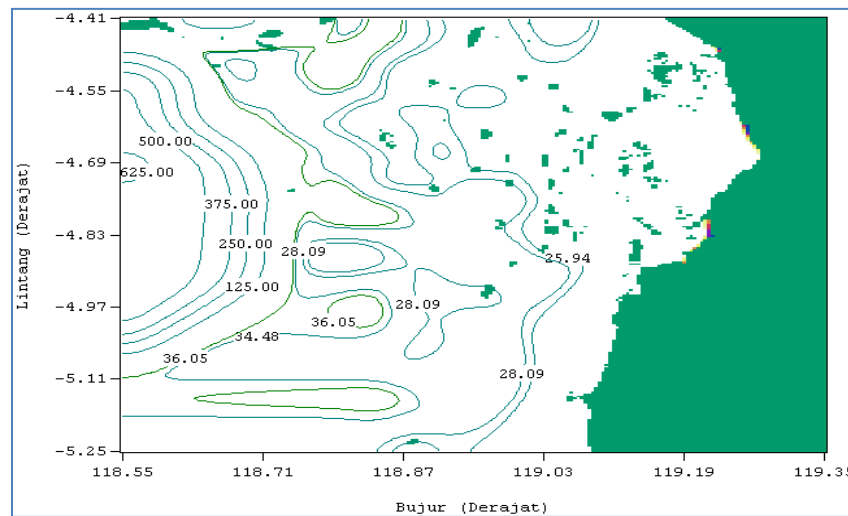
* *Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin*

Pada periode kering yang terjadi pada bulan Juni-September, suhu udara siang hari sangat tinggi (± 35 °C), sebaliknya pada malam hari suhu udara dapat turun hingga mencapai rata-rata 26.9 °C. Musim angin tenggara dapat menyebabkan suhu air menurun. Arus air dapat berubah-ubah arah namun umumnya bergerak dari utara melalui Selat Makassar ke arah Barat. Pasang surut rata-rata 1.5 meter (Hutchinson, 1945; de Klerk, 1983; Moka 1995).

2. Model Numerik.

Model laut yang digunakan dalam studi ini adalah model laut Princeton (Princeton Ocean Model, POM). Model ini pada awalnya dibangun oleh Blumberg dan Mellor pada akhir tahun 1970-an, dan sekarang telah banyak mengalami modifikasi yang diberikan oleh peneliti-peneliti lainnya.

Daerah penelitian yang dimodelkan adalah perairan Kepulauan Spermode, yaitu: 4°41' - 5°25' Lintang Selatan dan 118°55' - 119°35' Bujur Timur. Data batimetri daerah model diperoleh dari Dishidros TNI AL sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 1. Untuk membangun model hidrodinamika arus yang dibangkitkan oleh angin, peta kedalaman perairan tersebut didiskritisasi dengan ukuran grid $\Delta x = \Delta y = 370$ m.



Gambar 1. Batimetri Daerah Model.

Model ini disimulasikan selama satu tahun, yaitu 2006, dengan pemilihan bulan dominan sebagai perwakilan bulan dalam satu tahun. Pengambilan bulan dominan berdasarkan Mc Bridge (di dalam Mahie, 2005) pada kondisi normal wilayah Indonesia dipengaruhi oleh empat musim utama, yaitu:

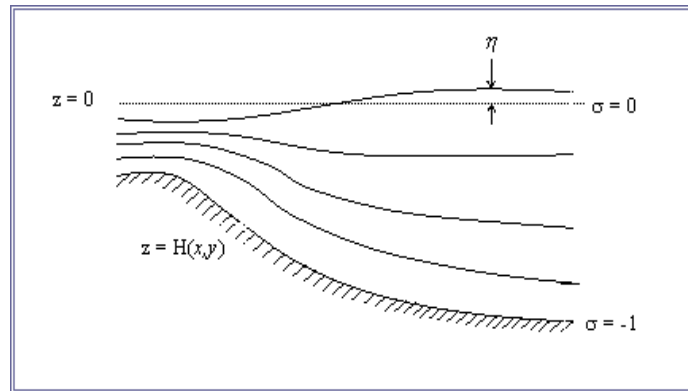
1. Monsun barat (*west monsoon*), yang terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari.
2. Transisi dari monsun barat ke monsun timur (Peralihan I) yang terjadi pada bulan Maret, April, dan Mei.
3. Monsun timur, yang terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus.
4. Transisi dari monsun timur ke barat (Peralihan 2), yang terjadi pada bulan September, Oktober, dan November.

Dalam model ini musim barat diwakili oleh bulan Januari, musim peralihan I oleh bulan April, musim timur oleh bulan Juli, dan musim peralihan II pada bulan Oktober. Di dalam model POM

dilakukan transformasi persamaan pengatur dalam arah vertikal dari sistem koordinat kartesian ke koordinat- σ . Transformasi ini dibuat untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih baik di lapisan permukaan dan dasar. Sistem koordinat ini akan mengikuti bentuk topografi dasar perairan sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Transformasi yang digunakan adalah:

$$x^* = x; y^* = y; \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, t^* = t \quad (1)$$

dimana x, y, z adalah koordinat kartesian. $D = H + \eta$ adalah kedalaman total dengan $H(x,y)$ adalah topografi dasar, dan $\eta(x,y,t)$ adalah elevasi permukaan air. Koordinat- σ merubah interval kolom air dari permukaan ($z = \eta$) ke dasar ($z = -H$) menjadi kedalaman yang seragam dari 0 sampai -1.



Gambar 2. Sistem Koordinat Sigma- σ (Mellor, 1998).

Persamaan-persamaan pembangun model sirkulasi arus 3D yang sudah ditransformasikan ke dalam sistem koordinat- σ adalah:

1. Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

2. Persamaan gerak dalam arah x dan y :

$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \\ \frac{gD^2}{\rho_0} \int_0^{\sigma} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \\ \frac{gD^2}{\rho_0} \int_0^{\sigma} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \end{aligned} \quad (4)$$

dengan

Andi Galsan Mahie

U dan V	: masing-masing komponen kecepatan arus untuk arah timur-barat dan utara-selatan;
ω	: kecepatan vertikal dalam koordinat- σ ;
t	: waktu;
f	: parameter Coriolis;
g	: percepatan gravitasi;
η	: elevasi permukaan air;
ρ_0	: densitas referensi air;
ρ'	: nilai fluktuasi dari densitas air;
KM	: viskositas eddy vertikal;
F_x dan F_y	: suku difusi horisontal dalam arah x dan y .

Simbol ω pada persamaan di atas merupakan kecepatan vertikal dalam koordinat- σ . Secara fisis, ω adalah komponen kecepatan normal ke permukaan sigma (σ). Kecepatan arus dalam arah vertikal di dalam koordinat Cartesian adalah:

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (5)$$

Model POM menggunakan teknik penyelesaian mode pemisah (*mode-splitting technique*) untuk mereduksi sejumlah besar pekerjaan komputasi dalam model 3D. Langkah waktu atau *time step* perhitungan dalam teknik ini ada dua macam, yaitu: langkah waktu pendek dipakai untuk menyelesaikan persamaan dua dimensi (2D) yang diintegrasikan secara vertikal (mode eksternal), dan langkah waktu yang lebih panjang dipakai untuk persamaan tiga dimensi (mode internal). Mode eksternal diselesaikan dengan menggunakan persamaan yang diintegrasikan secara vertikal (2D), yaitu:

- Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial D\bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial D\bar{V}}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

- Persamaan gerak dalam arah x dan y :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}}{\partial y} - f\bar{V} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho_0 D} + A_H \Delta \bar{U} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2}{\partial y} + f\bar{U} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho_0 D} + A_H \Delta \bar{V} \quad (8)$$

dengan

\bar{U} dan \bar{V} : komponen kecepatan arus yang dirata-ratakan terhadap kedalaman masing-masing untuk arah timur-barat dan utara-selatan;

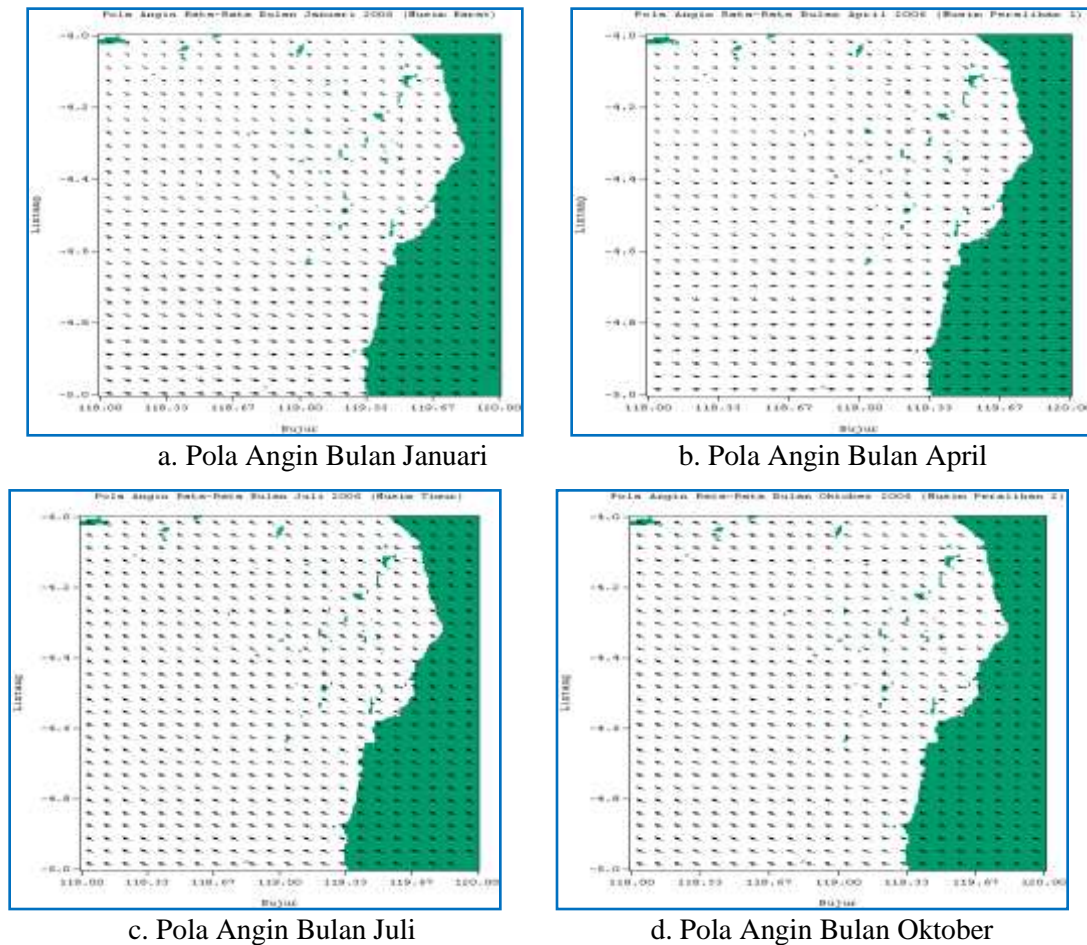
τ_{sx} dan τ_{sy} : stress permukaan masing-masing untuk arah x dan y ;

τ_{bx} dan τ_{by} : stress dasar masing-masing untuk arah x dan y ;

A_H : viskositas eddy horisontal;

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$: operator Laplace 2-dimensi.

Syarat batas yang digunakan adalah batas darat menggunakan syarat batas tertutup dimana kecepatan yang datang tegak lurus pantai adalah sama dengan nol (*Zero flow normal*), sedangkan pada batas terbuka menggunakan syarat batas radiasi Sommerfeld berdasarkan teknik penjalaran gelombang. Syarat batas permukaan diberikan oleh kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut dengan data angin 6 jam-an (sumber: <http://www.ncep.gov>). Analisis distribusi kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui pola angin rata-rata dalam 4 musim. Data angin yang diperoleh dalam format netcdf diolah dengan memanfaatkan software *Grid Analysis Display System (GrADS) versi 1.8SL11* dengan data keluaran berupa komponen angin yaitu u dan v dalam 1 tahun, yaitu tahun 2006, kemudian diasimilasi untuk memperoleh data angin tiap 6 jam-an dalam 1 tahun (sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 3a-3d).



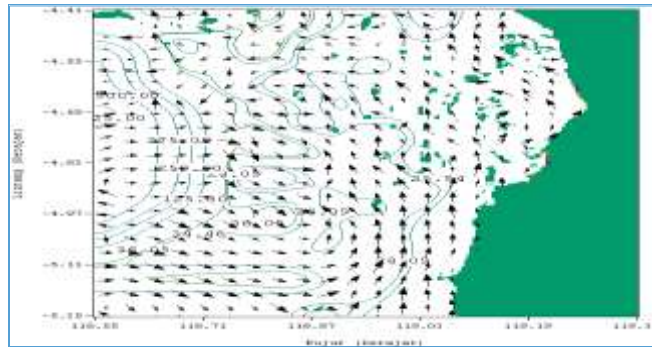
Gambar 3. Pola Angin Rata-Rata di Bulan Dominan pada Tahun 2006.

3. Pola Arus Hasil Pemodelan

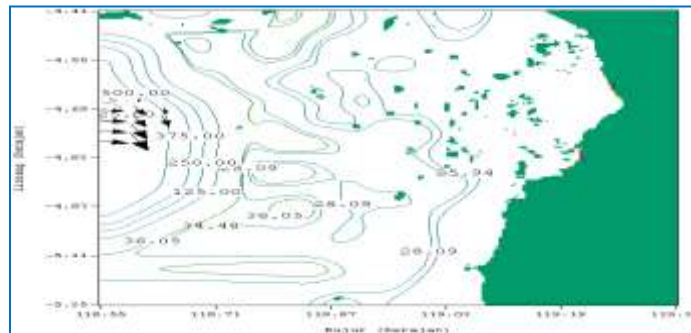
Hasil simulasi berupa pola sirkulasi angin dan arus tahun 2006 selama 4 musim, dimana simulasi dilakukan dalam 1 bulan perwakilan dari tiap musim, yaitu musim barat (Januari), musim transisi dari barat ke timur (April), musim timur (Juli), dan musim transisi dari timur ke barat (Oktober). Pola arus digambarkan tiap lapisan yaitu pada lapisan permukaan, lapisan kedua (300 meter), dan lapisan ketiga (600 meter).

3.1. Pola Arus di Musim Barat

Hasil simulasi arus dominan dari arah barat dengan kecepatan maksimum 0.24 m/s ditunjukkan pada Gambar 4. Arus cenderung tidak beraturan pada zona dangkal akibat kondisi topografi bawah laut dan permukaan perairan yang dikelilingi oleh pulau-pulau, sehingga tampak pada gambar terjadi perputaran arus pada daerah sekitar di sekitar kedalaman 35 meter pada daerah simulasi. Arus hasil simulasi semakin berkurang berbanding lurus dengan kedalaman perairan hingga kecepatan maksimum 0.01 m/s pada kedalaman 600 meter (Gambar 5).



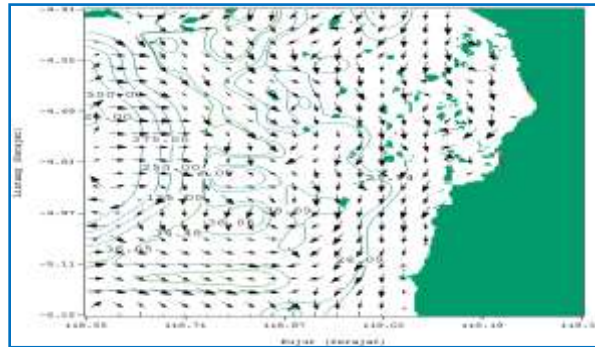
Gambar 4. Pola Arus Rata-rata di Musim Barat pada Lapisan Permukaan ($V_{max} = 0.24$ m/s).



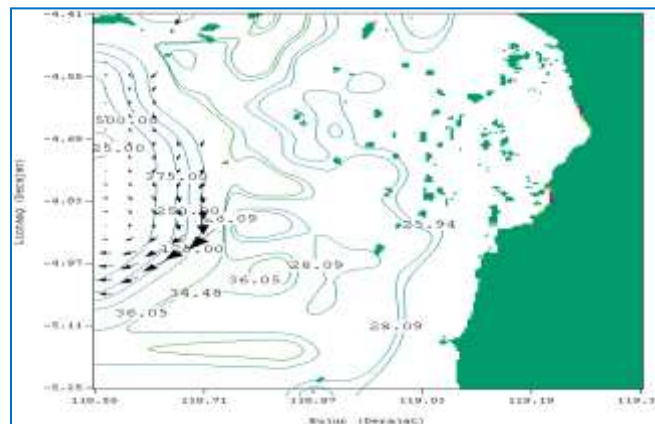
Gambar 5. Pola Arus Rata-rata di Musim Barat pada Lapisan Kedua ($h = 600$, $V_{max} = 0.01$ m/s).

3.2. Pola Arus di Musim Peralihan I

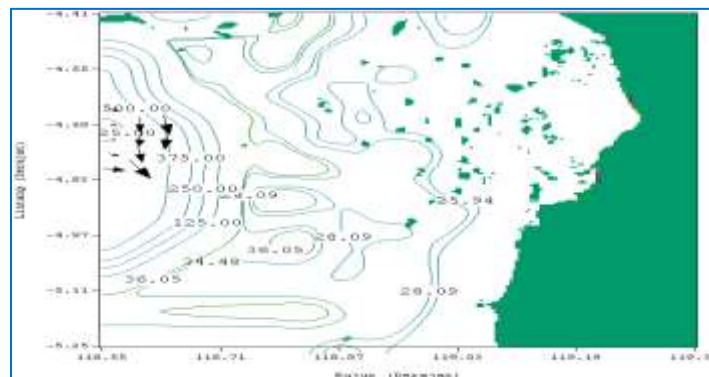
Arah arus permukaan cenderung tegak lurus dari arah angin yaitu arus maksimum yang datang dari arah utara menuju ke selatan dengan kecepatan arus sebesar 0.15 m/s. Arus menuju barat datang dari arah pantai, dan arus menuju timur datang dari arah lepas pantai. Hal ini menyebabkan bertemunya arus dari lepas pantai dan arus dari dekat pantai bergabung dengan arus dari arah utara, karena arus yang menuju selatan ini cukup kuat. Kecepatan arus berkurang seiring dengan semakin dalam perairan. Hingga pada kedalaman 300 meter kecepatan arus menjadi 0.015 m/s, dan pada kedalaman 600 meter kecepatan arus menjadi sebesar 0.02 m/s. Hal ini terlihat pada Gambar 6, 7, dan 8 berikut.



Gambar 6. Pola Arus Rata-rata di Musim Peralihan I pada Lapisan Permukaan ($V_{max} = 0.15$ m/s).



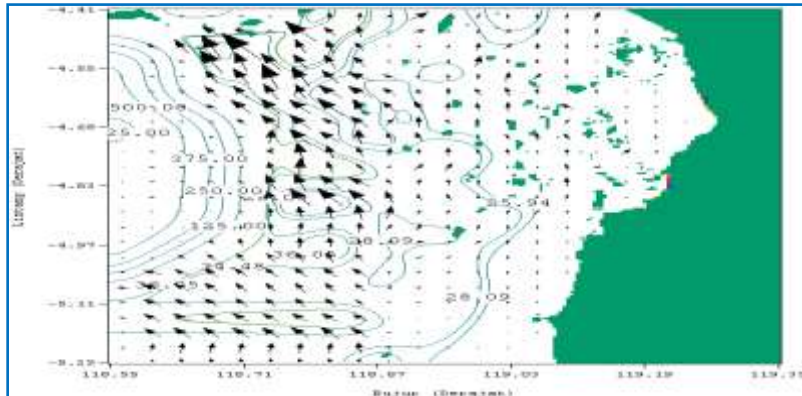
Gambar 7. Pola Arus Rata-rata di Musim Peralihan I pada Lapisan Pertama ($h = 300$ m, $V_{max}=0.015$ m/s).



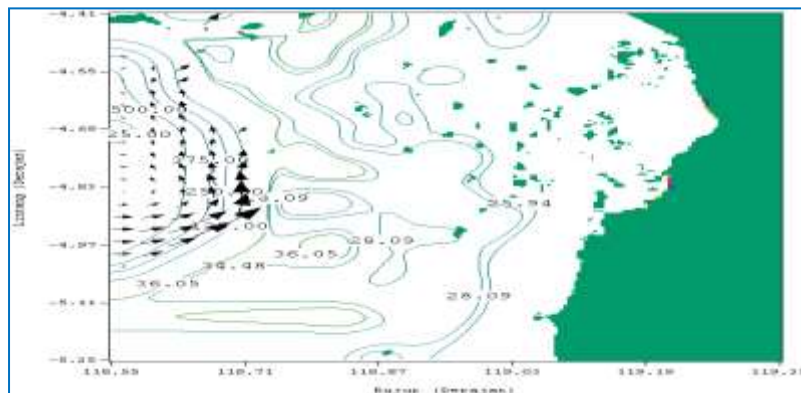
Gambar 8. Pola Arus Rata-rata di Musim Peralihan I pada Lapisan Kedua ($h = 600$ m, $V_{max}=0.02$ m/s).

3.3. Pola Arus di Musim Timur

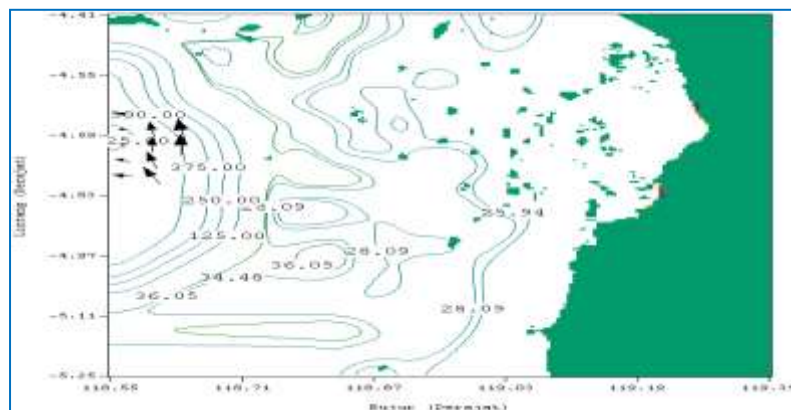
Pada Gambar 9 terlihat arus sebagian besar mengalir menuju utara dan mengalir menuju arah barat mengikuti pola angin dengan kecepatan arus maksimum sebesar 0.36 m/s. Di beberapa tempat masih terjadi pembelokan arah arus akibat perbedaan kedalaman. Kecepatan arus semakin melemah pada kedalaman 300 meter yaitu sebesar 0.031 m/s, sampai pada kedalaman 600 meter yaitu sebesar 0.009 m/s karena kecepatan angin pada kedalaman ini pengaruhnya semakin kecil sehingga kecepatan arus yang dihasilkan semakin melemah (lihat Gambar 11).



Gambar 9. Pola Arus Rata-rata di Musim Timur pada Lapisan Permukaan ($V_{max}=0.36$ m/s).



Gambar 10. Pola Arus Rata-rata di Musim Timur pada Lapisan Pertama ($h = 300$ m, $V_{max}=0.031$ m/s).

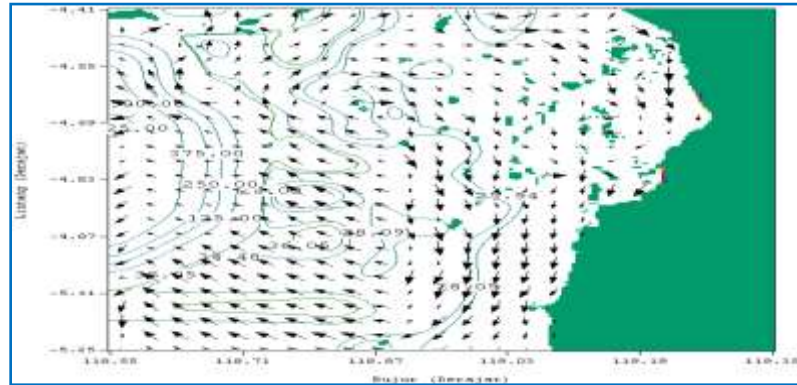


Gambar 11. Pola Arus Rata-rata di Musim Timur pada Lapisan Kedua ($h = 600$ m, $V_{max}=0.009$ m/s).

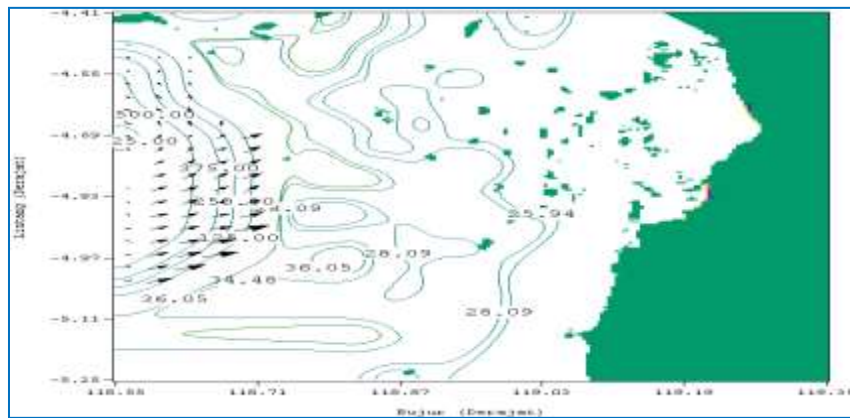
3.4. Pola Arus di Musim Peralihan II

Sebagian besar arus mengalir ke barat, dan sebagian kecil arus yang menuju utara berbelok arah menuju timur atau dekat pantai sehingga terjadi gerakan arus yang berputar pada zona dangkal akibat kondisi batimetri. Dari hasil simulasi, kecepatan arus maksimum di permukaan pada musim ini sebesar 0.045 m/s (Gambar 12). Kecepatan arus terus melemah

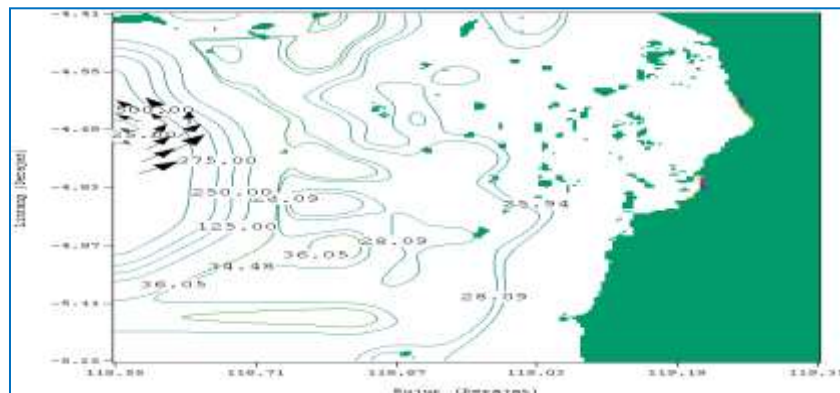
sampai pada kedalaman 300 meter 0.003 m/s (Gambar 13), dan kedalaman 600 meter sebesar 0.001 m/s (Gambar 14).



Gambar 12. Pola Arus Rata-rata di Musim Peralihan II pada Lapisan Permukaan ($V_{max}=0.045\text{m/s}$).



Gambar 13. Pola Arus Rata-rata di Musim Peralihan II pada Lapisan Pertama ($h = 300\text{ m}$, $V_{max}=0.003\text{m/s}$).



Gambar 14. Pola Arus Rata-rata di Musim Peralihan II pada Lapisan Kedua ($h = 600\text{ m}$, $V_{max}=0.001\text{m/s}$).

Kondisi arus permukaan rata-rata di Kepulauan Spermonde Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan sangat di pengaruhi oleh pola angin rata-rata.

4. Kesimpulan

1. Dari simulasi model sirkulasi arus yang dibangkitkan oleh angin dengan perwakilan 4 musim yang dominan diperoleh bahwa untuk lapisan permukaan pola angin dan pola arus mempunyai kemiripan dalam arah akan tetapi dari magnitudo agak berbeda, dimana kecepatan angin rata-rata untuk tiap musim lebih besar dari pada kecepatan arus rata-rata.
2. Untuk zona dangkal pola arus masih sangat dipengaruhi oleh topografi daerah model.
3. Terjadi pengurangan Kecepatan arus rata-rata mengikuti kedalaman daerah perairan.

Daftar Pustaka

- de Klerk, L.G., 1983. *Zeespiegel raffen en kustflakten in Zuitwest Sulawesi, Indonesia. PhD Thesis*, Utrecht Netherland.
- Mahie, A.G, 2005. Analisis variabilitas arus lintas Indonesia (ARLINDO) di Selat Makassar. *Tesis Magister*, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung.
- Mandang, I., 2002. Model numerik tiga dimensi barotropik ARLINDO di perairan Indonesia dan sekitarnya. *Tesis Magister*, Departemen GM, ITB.
- Mellor, G.L., 1998. *Users Guide for A Three-dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model*. Revision July 1998, Princeton University, Princeton.
- Moka, W., 1995. *Struktur Komunitas Bentik Pada Ekosistem Terumbu Karang Kepulauan Spermonde*. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Moll, H., 1983. Zonation and diversity of scleractina on reefs off South Sulawesi Indonesia. *Thesis*, Leiden University, Netherland.
- Ningsih, N.S., 2000. Three-dimensional model for coastal ocean circulation and sea floor topography change; Application to the Java sea. *Doctoral Thesis in Engineering*, Civil Engineering, Kyoto University, Japan