

Studi Numerik Hidrodinamika Di Perairan Teluk Balikpapan Menggunakan Metode Volume Hingga

¹Suci Erniya Rahman, ²Mustaid Yusuf, ³Yuki Novia Nasution

¹Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

²Laboratorium Fisika Komputasi, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

³Laboratorium Statistika Komputasi, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

*mustaid@unmul.ac.id

ABSTRAK

Model hidrodinamika FVCOM (*Finite Volume Coastal Ocean Model*) menggunakan metode pendekatan volume hingga telah diaplikasikan untuk mengetahui perbandingan kecepatan arus pada saat purnama dengan perbani serta pola arus pasang surut di Teluk Balikpapan. Simulasi dilakukan selama 30 hari dengan menggunakan debit sungai dan pasang surut sebagai gaya pembangkit. Hasil simulasi diverifikasi dengan membandingkan data simulasi dengan observasi di wilayah Teluk Balikpapan. Hasil verifikasi simulasi dan observasi menunjukkan nilai RMSE yang cukup baik, yaitu sebesar 0.09917 meter. Hasil penelitian menunjukkan pola arus pasang surut rata-rata di Teluk Balikpapan memiliki kecenderungan arah keluar Teluk Balikpapan. Untuk kecepatan arus pasang surut maksimum di Teluk Balikpapan saat purnama pada kondisi pasang tertinggi sebesar 0.4877 m/s, sedangkan pada kondisi pasang perbani sebesar 0.4579 m/s. Kecepatan arus pasang surut maksimum pada kondisi surut purnama sebesar 0.4919 m/s, sedangkan pada surut perbani sebesar 0.4496 m/s. Perbedaan kecepatan arus pada saat purnama lebih besar dibandingkan pada saat perbani disebabkan karena adanya perbedaan interval yang cukup besar pada elevasi pasang surut kondisi purnama dengan perbani di Teluk Balikpapan, dimana elevasi pada saat purnama maksimum 1.5211 m dan minimum -1.1951 m, dibandingkan elevasi saat perbani maksimum 0.3255 m dan minimum -0.2179 m.

Kata Kunci : Arus pasang surut, Model Hidrodinamika, Volume Hingga, Teluk Balikpapan

ABSTRACT

The hydrodynamic model FVCOM (*Finite Volume Coastal Ocean Model*) using the finite volume method has been applied to determine the distribution of tidal current patterns in the Balikpapan Bay area. The simulation was carried out for 30 days using river discharge and tides as generating forces. The simulation results are verified by comparing the simulation data with observations in the Balikpapan Bay. The results of the simulation and observation verification show a fairly good RMSE value, which is 0.09917 meters. The results show that the average tidal current pattern in Balikpapan Bay has a tendency towards outward from Balikpapan Bay. For the maximum tidal current velocity in Balikpapan Bay at spring tide at the highest tide condition is 0.4877 m/s, while at neap tide it is 0.4579 m/s. The maximum tidal current velocity at low tide on spring is 0.4919 m/s, while at low tide on neap it is 0.4496 m/s. The difference in current velocity at spring tide is greater than at neap tide

due to the large difference in intervals between tidal and neap conditions in Balikpapan Bay, where the maximum elevation at spring tide is 1.5211 m and minimum -1.1951 m, compared to elevation at neap tide maximum 0.3255 m and minimum -0.2179 m.

Keywords: Tidal currents, Hydrodynamic Model, Finite Volume, Balikpapan Bay

1. PENDAHULUAN

Teluk Balikpapan merupakan salah satu daerah perairan di Kalimantan Timur, merupakan perairan semi tertutup dimana terjadi pertukaran massa air di dalam teluk dan di luar teluk masih terjadi. Terutama pertukaran yang dibangkitkan oleh pasang surut yang berasal dari Selat Makassar^[7].

Perpindahan massa air laut dari satu tempat ke tempat lain disebut arus laut. Banyak faktor yang memengaruhi arus laut, diantaranya yaitu gradien tekanan, hembusan angin, perbedaan densitas dan pasang surut^[10].

Menurut Respati (2018), arus dibedakan menjadi dua, yaitu arus pasang surut dan arus residu (non-pasang surut). Arus yang hanya dipengaruhi oleh pergerakan pasang surut disebut sebagai arus pasang surut, sedangkan arus residu merupakan arus yang dipengaruhi oleh faktor non-pasang surut.

Oleh karena itu penelitian ini dilakukan agar dapat mengetahui perbandingan kecepatan arus pasang surut dan pola arah arus pasang surut rata-rata di Teluk Balikpapan dengan menggunakan model FVCOM, dimana metode yang digunakan adalah metode volume hingga agar mendekati dengan kondisi geometri sebenarnya yang cukup kompleks. Simulasi ini dilakukan agar dapat digunakan sebagai referensi dan rujukan dalam pengembangan dan pembangunan di kawasan tersebut.

2. TEORI

2.1 Pasang Surut

Pasang surut adalah gejala naik turunnya muka air laut yang diakibatkan oleh banyak faktor baik secara global maupun lokal, namun faktor utamanya dibangkitkan oleh adanya interaksi dari gravitasi benda-benda angkasa seperti matahari, bumi, bulan

dan benda langit lainnya. Secara singkat, pasang surut adalah gejala naik turunnya permukaan air yang disertai dengan gerakan horizontal massa air^[3].

2.2 Model Hidrodinamika FVCOM

FVCOM merupakan suatu model perairan laut tiga dimensi dengan sistem grid yang tidak terstruktur (unstructured triangular grid) dan dapat memberikan hasil yang lebih baik dengan kondisi garis pantai yang sangat kompleks^[5].

Diskritisasi yang dilakukan dalam FVCOM berbeda dengan bentuk diferensial yang digunakan dalam *finite difference* dan *finite element* biasanya. Persamaan integral dalam persamaan ini diselesaikan dengan perhitungan fluks (metode *finite difference*) secara numerik dengan triangular grid dengan ukuran yang dapat disesuaikan (metode *finite element*) untuk memberikan garis pantai yang fleksibel^[8].

Dalam metode *finite volume* ini pembentukan mesh diterapkan dengan grid segitiga tidak beraturan (*unstructured triangulated grid*) yang terdiri dari tiga *node*, satu *centroid* dan tiga sisi dan dapat didefinisikan oleh pengguna. Struktur model FVCOM disajikan dalam gambar 2.3^[4].

Persamaan-persamaan dasar dalam model FVCOM meliputi persamaan momentum, kontinuitas, salinitas, temperatur, dan densitas^[11]:

Persamaan momentum:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_u \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} - fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_v \quad (2.6)$$

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.7)$$

Persamaan salinitas:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (2.8)$$

Persamaan temperatur:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_T \quad (2.9)$$

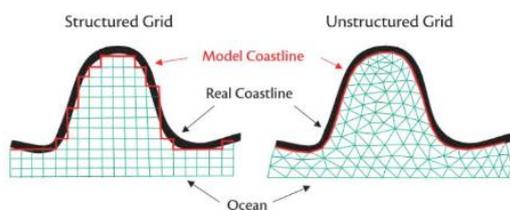
Persamaan densitas:

$$\rho = \rho(T,S) \quad (2.10)$$

Dimana x, y dan z adalah arah timur-barat, utara-selatan dan sumbu vertikal pada sistem koordinat kartesian; u, v dan w adalah komponen kecepatan arus untuk arah x, y dan z ; S adalah salinitas; T adalah temperatur; ρ adalah densitas; P adalah tekanan ; f adalah parameter coriolis; g adalah percepatan gravitasi; K_m adalah koefisien viskositas eddy vertikal; dan K_h adalah koefisien viskositas eddy horizontal. F_u, F_v, F_T dan F_S merepresentasikan momentum horizontal, termal, dan difusi salinitas.

2.3 Grid dan Pendekatan *Finite Volume* dalam Model FVCOM

Menurut Minarrohman (2017), *mesh* atau grid pada pemodelan hidrodinamika merupakan jaring dasar pembentuk domain model. *Mesh* atau grid ada yang berbentuk grid terstruktur (*structured grid*) dan ada yang berbentuk TIN (*Triangulate Irregular Network*) atau segitiga (*unstructured grid*). Grid pada model FVCOM pada penelitian ini menggunakan grid yang tidak terstruktur atau grid segitiga. Gambar 2.3 menunjukkan ilustrasi perbedaan bentuk mesh garis pantai pada penyelesaian numerik 2D.



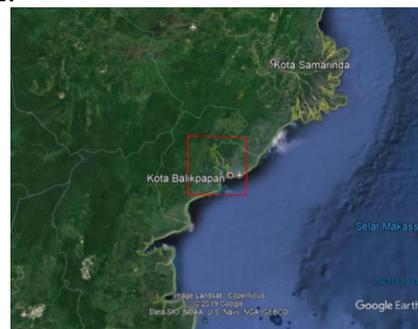
Gambar 1. Perbedaan bentuk *mesh* garis pantai pada penyelesaian numerik 2D (sumber: Chen et al., 2006).

Chen et al (2011) menjelaskan bahwa pendekatan *finite volume* dalam FVCOM merupakan kombinasi dari metode elemen

hingga (*finite element method*) yang digunakan untuk fleksibilitas geometri dan metode beda hingga (*finite difference method*) yang digunakan untuk struktur diskrit sederhana dan efisiensi komputasi, sedangkan untuk koordinat vertikal dalam FVCOM menggunakan transformasi ke dalam bentuk koordinat sigma agar layer vertikal mengikuti bentuk topografi dasar perairan.

3. METODE PENELITIAN

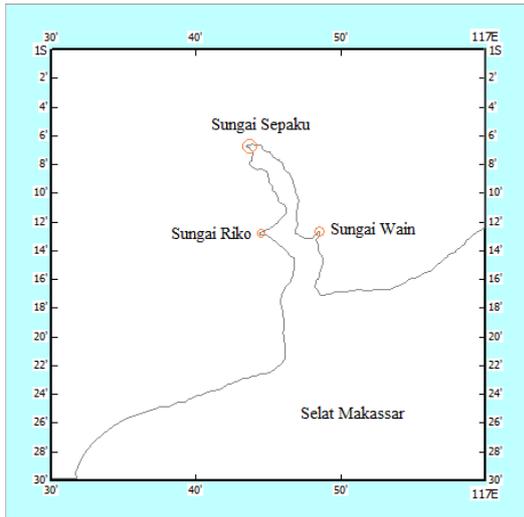
Waktu penelitian dilakukan dari bulan November 2020 sampai dengan bulan Juli 2021. Simulasi dilakukan di Laboratorium Fisika Komputasi dan Pemodelan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda. Wilayah studi terletak di Teluk Balikpapan dengan koordinat 116° 33' 0" hingga 116° 56' 59" bujur timur dan 1° 0' 0" hingga 1° 24' 0" lintang selatan (dapat dilihat pada Gambar 1). Waktu simulasi dilakukan selama 30 hari, terhitung dari tanggal 1 Oktober 2012 sampai dengan 30 Oktober 2012.



Gambar 2. Peta Wilayah Studi.

3.1 Data Penelitian

Data batimetri wilayah Teluk Balikpapan diperoleh dengan melakukan digitasi peta kedalaman yang bersumber dari data BATNAS dengan resolusi hingga 1 menit. Data *coastline* wilayah Teluk Balikpapan diperoleh dari *software Coastline Extractor* (Geodas NG) yang diolah dari data GSHHS (dapat dilihat pada Gambar 3).



Gambar 3. Peta *coastline* daerah simulasi.

Data pasang surut yang digunakan sebagai input model diperoleh dari *Tide Model Driver* (TMD) TPXO-8 Atlas yang berupa data elevasi pasang surut. Data debit yang digunakan diperoleh dari data penelitian sebelumnya (Fitroh, 2013) yang berasal dari Dinas Pertanian, Kelautan dan Perikanan Kota Balikpapan (dapat dilihat dalam Tabel 1).

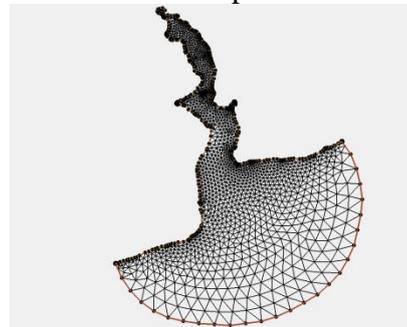
Tabel 1. Data Debit Air Sungai yang Bermuara ke Teluk Balikpapan (sumber: Fitroh, 2013).

No	Lokasi	Kecepatan aliran (m/detik)	Luas Penampang (m ²)	Debit Sungai (m ³ /s)
1	Sungai Wain	0.23	10.77	2.4777
2	Sungai Sepaku	0.29	145.48	42.189
3	Sungai Riko	0.31	53.49	16.852

3.2 Rancangan dan Skenario Penelitian

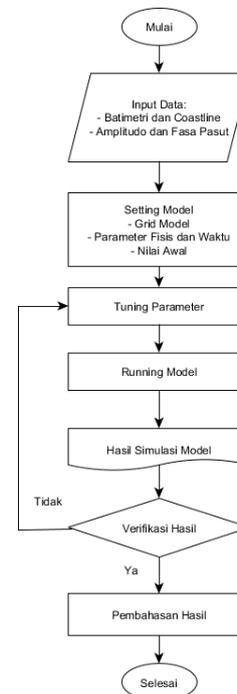
Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan data *coastline* Teluk Balikpapan sebagai data batas tertutup yang selanjutnya digunakan dalam pembuatan grid tidak terstruktur dengan menggunakan *software SMS Grid Generator* versi 13.0. Selanjutnya dimasukkan data batimetri serta koordinat yang sudah dikonversi dalam satuan meter beserta data temperatur dan pasang surut sebagai input model FVCOM.

Selanjutnya model tersebut disimulasikan selama 30 hari pada bulan Oktober. Setelah didapatkan hasil simulasi, kemudian hasil tersebut diuji coba dengan data observasi lapangan menggunakan metode perhitungan nilai RMSE. Apabila nilai perhitungan RMSE antara hasil simulasi dan observasi kecil (semakin mendekati nol semakin baik), maka dilakukan analisa pola distribusi arus.



Gambar 4. Grid domain model (sumber: SMS *Grid Generator*).

3.3 Diagram Alir

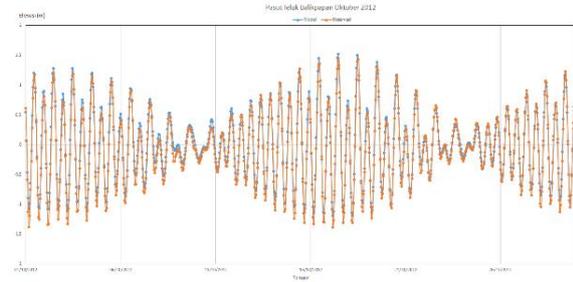


Gambar 5. Diagram Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Di dalam penelitian ini, dilakukan verifikasi pada elevasi pasang surut untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil dari simulasi model. Cara yang digunakan yaitu dengan membandingkan pola elevasi pasang

surut dari hasil simulasi model dengan data observasi elevasi pasang surut pada koordinat $116^{\circ} 47' 60''$ BT dan $1^{\circ} 16' 12''$ LS. Data yang digunakan selama 30 hari, terhitung dari tanggal 1 Oktober 2012 sampai dengan 30 Oktober 2012. Untuk verifikasi pola elevasi pasang surut dapat dilihat pada Gambar 4.1.



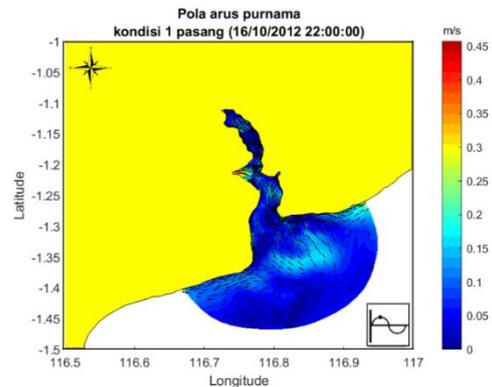
Gambar 6. Grafik elevasi pasang surut hasil simulasi model dan observasi.

Dari gambar verifikasi pola elevasi pasang surut tersebut dapat dilihat bahwa hasil simulasi dan data observasi memiliki pola yang sama, namun terdapat sedikit perbedaan pada besaran amplitudonya. Amplitudo elevasi pasang surut hasil simulasi sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan nilai observasinya. Seperti pada Gambar 6, yaitu pada tanggal 17 Oktober 2012 dengan kondisi pasang surut purnama, amplitudo hasil simulasi pasang tertinggi yaitu sebesar 1.5092 m, sedangkan untuk nilai observasinya sebesar 1.45 m. Pada kondisi surut, amplitudo dari hasil simulasi sebesar -1.2123 m, sedangkan nilai observasinya sebesar -1.39 m. Perbedaan ini diperkirakan merupakan akibat dari pengaruh penerapan gesekan dasar dan beberapa faktor fisis lainnya terhadap elevasi pasang surut pada model terbatas.

Perhitungan verifikasi elevasi pasang surut simulasi dan observasi, yaitu dengan menggunakan metode perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) selama 30 hari waktu simulasi, didapatkan nilai RMSE sebesar 0.09917 m. Nilai perhitungan RMSE tersebut menunjukkan kesesuaian yang cukup baik.

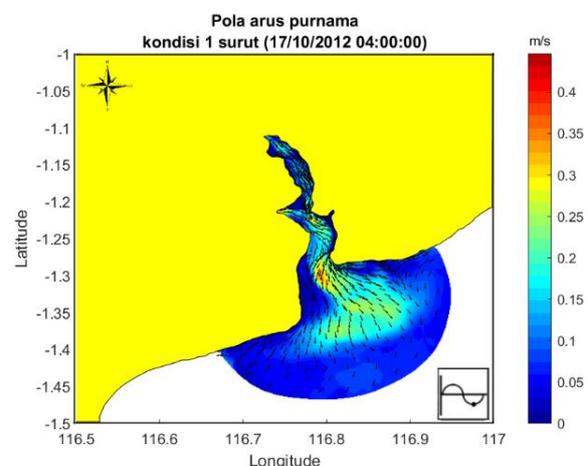
Dari Gambar 7, dapat dilihat kecepatan arus di wilayah simulasi berkisar antara 0-0.4677 m/s dengan arah arus dari

batas terbuka mulai masuk ke dalam teluk. Kecepatan arus di wilayah batas terbuka berkisar antara 0.0017-0.2415 m/s.



Gambar 7. Pola arus pada saat purnama kondisi 1 pasang.

Untuk kecepatan arus di bagian muara teluk berkisar antara 0.0038-0.2221 m/s. Kecepatan arus di sekitar sungai Wain berkisar antara 0.0015-0.2692 m/s dengan arah sebagian keluar dan sebagian masuk ke dalam teluk (terutama di bagian utara sungai Wain). Kecepatan arus di sekitar sungai Riko berkisar antara 0-0.4677 m/s dengan arah masuk ke dalam teluk di bagian sebelah utara sungai Riko, dan mengarah keluar di bagian sebelah selatan sungai Riko. Untuk Kecepatan arus di sekitar sungai Sepaku berkisar antara 0.0001553-0.2542 m/s dengan arah keluar dari teluk.

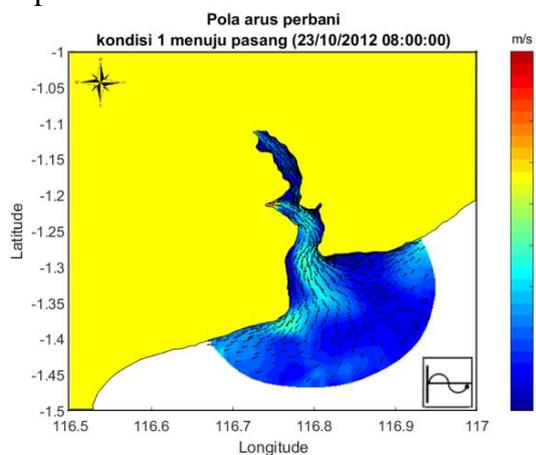


Gambar 8. Pola arus pada saat purnama kondisi 1 surut.

Dari Gambar 8, dapat dilihat kecepatan arus di wilayah simulasi berkisar antara 0-0.4919 m/s dengan arah arus keluar menjauhi teluk. Untuk kecepatan arus di

sekitar wilayah batas terbukanya berkisar antara 0-0.1842 m/s dengan arah menuju ke arah selatan Selat Makassar, dan untuk wilayah pesisir sebelah di sekitar batas terbuka ada arah arusnya mulai masuk ke teluk namun diblokkan oleh arus debit dan akibat kondisi surut yang keluar dari teluk.

Di sekitar muara teluk, kecepatan arus berkisar antara 0-0.3452 m/s dengan arah arus seragam keluar dari teluk pada bagian pesisir muara sebelah kanan dan kiri. Kecepatan arus di sekitar sungai Wain berkisar antara 0-0.3046 m/s dengan arah arus keluar dari dalam teluk. Begitu juga dengan arah arus di sekitar wilayah sungai Riko dan Sepaku. Kecepatan arus di sekitar sungai Riko berkisar antara 0-0.4267 m/s, sedangkan kecepatan arus di sekitar sungai Sepaku berkisar antara 0-0.4919 m/s.

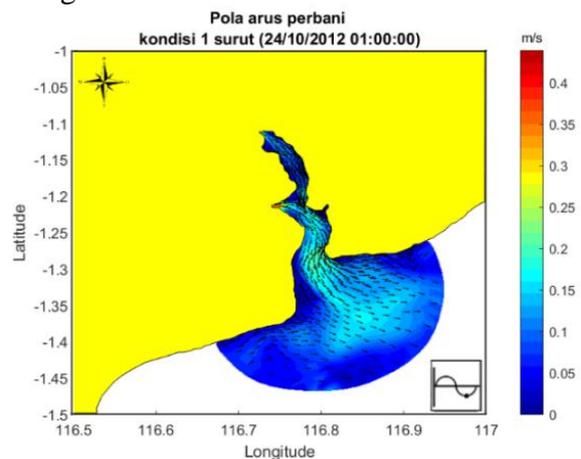


Gambar 11. Pola arus pada saat perbani kondisi 1 menuju pasang.

Dari Gambar 11, dapat dilihat kecepatan arus di wilayah simulasi berkisar antara 0-0.4447 m/s dengan arah arus mayoritas keluar dari teluk, namun di bagian tengah batas terbukanya ada arus yang sudah mulai masuk ke dalam teluk. Untuk kecepatan arus di sekitar wilayah batas terbukanya berkisar antara 0.0144-0.1855 m/s dengan arah arus mayoritas keluar dari teluk dengan sebagian kecil arus yang mulai masuk ke teluk. Hal ini dikarenakan pada saat perbani, elevasi pasang surut di teluk Balikpapan menjadi lebih kecil dibandingkan pada saat purnama.

Di sekitar muara teluk, kecepatan arus berkisar antara 0-0.2022 m/s dengan

arah arus keluar dari dalam teluk. Kecepatan arus di sekitar sungai Wain berkisar antara 0-0.2244 m/s dengan arah seragam keluar dari teluk. Kecepatan arus di sekitar sungai Riko berkisar antara 0-0.4447 m/s dengan arah keluar dari teluk. Di bagian pesisir utara sungai Riko, terdapat arus yang masuk menuju ke utara teluk, namun kemudian diblokkan oleh arus debit yang keluar dari sungai Sepaku. Kemudian untuk kecepatan arus di sekitar sungai Sepaku berkisar antara 0-0.3231 m/s dengan arah seragam, yaitu mengarah keluar teluk.

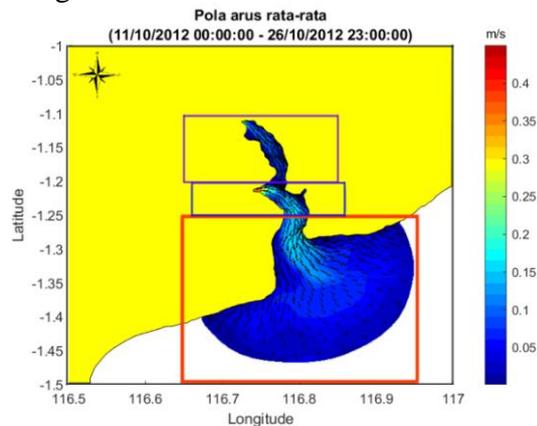


Gambar 12. Pola arus pada saat perbani kondisi 1 surut.

Dari Gambar 12, dapat dilihat kecepatan arus di wilayah simulasi berkisar antara 0-0.4496 m/s dengan arah arus mayoritas keluar dari teluk, namun di bagian kiri dan kanan batas terbukanya ada arus yang mengarah masuk ke dalam teluk. Untuk kecepatan arus di sekitar wilayah batas terbukanya berkisar antara 0.0103-0.1472 m/s dengan arah arus dari bagian selatan Selat Makassar menuju ke bagian utara Selat Makassar. Di bagian kiri pesisir batas terbukanya, terdapat arus yang diblokkan oleh arus yang keluar dari teluk.

Di sekitar muara teluk, kecepatan arus berkisar antara 0-0.2245 m/s dengan arah arus keluar menyusuri pesisir dan menjauhi teluk. Kecepatan arus di sekitar sungai Wain berkisar antara 0.0040-0.2316 m/s dengan arah seragam keluar dari teluk, walaupun ada sebagian arus yang mengarah masuk ke utara teluk namun diblokkan oleh arus yang keluar dari muara sungai Riko.

Untuk kecepatan arus di sekitar sungai Riko berkisar antara 0-0.4496 m/s dengan arah keluar dari teluk. Untuk arah arus sungai Riko hampir memiliki kondisi yang sama dengan sungai Wain, namun kemudian dibelokkan oleh arus debit yang keluar dari sungai Sepaku. Kemudian untuk kecepatan arus di sekitar sungai Sepaku berkisar antara 0-0.4022 m/s dengan arah seragam, yaitu mengarah keluar teluk.



Gambar 13. Pola arus rata-rata 15 hari (a) pada daerah muara teluk; (b) pada daerah tengah teluk; dan (c) pada daerah ujung teluk.

Dari Gambar 13, dapat dilihat kecepatan arus di wilayah simulasi berkisar antara 0-0.4612 m/s dengan arah arus, namun di bagian tengah terluar batas terbukanya ada arus yang mengalami pembelokkan dengan mengarah masuk ke dalam teluk. Untuk kecepatan arus di sekitar wilayah batas terbukanya berkisar antara 0.00041-0.0763 m/s dengan arah arus keluar menjauhi teluk, namun di bagian tengah terluar batas terbukanya terlihat ada pembalikan arah arus.

Di sekitar muara teluk kecepatan arus berkisar antara 0.000335-0.1683 m/s dengan arah arus keluar menyusuri pesisir dan menjauhi teluk. Kecepatan arus di sekitar sungai Wain berkisar antara 0-0.15 m/s dengan arah seragam keluar dari teluk, walaupun ada sebagian arus yang mengarah masuk ke utara teluk namun dibelokkan oleh arus yang keluar dari muara sungai Riko. Untuk kecepatan arus di sekitar sungai Riko berkisar antara 0-0.4612 m/s dengan arah keluar dari teluk. Untuk arah arus sungai

Riko hampir memiliki kondisi yang sama dengan sungai Wain, namun kemudian dibelokkan oleh arus debit yang keluar dari sungai Sepaku. Kemudian untuk kecepatan arus di sekitar sungai Sepaku berkisar antara 0.0024-0.3301 m/s dengan arah seragam, yaitu mengarah keluar teluk.

Dari gambar arah arus pasang surut rata-rata tersebut, dapat diketahui bahwa pola arus di Teluk Balikpapan memiliki kecenderungan arah keluar teluk.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian dengan simulasi model numerik hidrodinamika menggunakan pendekatan volume hingga, dapat diketahui bahwa:

1. Kecepatan arus pasang surut maksimum di Teluk Balikpapan saat purnama pada kondisi pasang tertinggi sebesar 0.4877 m/s, sedangkan pada kondisi pasang perbani sebesar 0.4579 m/s. Kecepatan arus pasang surut maksimum pada kondisi surut purnama sebesar 0.4919 m/s, sedangkan pada surut perbani sebesar 0.4496 m/s. Perbedaan kecepatan arus pada saat purnama lebih besar dibandingkan pada saat perbani disebabkan karena adanya perbedaan interval yang cukup besar pada elevasi pasang surut kondisi purnama dengan perbani di Teluk Balikpapan, dimana elevasi pada saat purnama maksimum 1.5211 m dan minimum -1.1951 m, dibandingkan elevasi saat perbani maksimum 0.3255 m dan minimum -0.2179 m.
2. Pola arus pasang surut rata-rata di Teluk Balikpapan memiliki kecenderungan arah keluar Teluk Balikpapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chen, C., R.C. Beardsley and G. Cowles. 2006. *An Unstructured Grid, Finite-volume Coastal Ocean Model (FVCOM) System*. Special Issue Entitled "Advance in

- Computational Oceanography". *Oceanography*. 19(1), 78-89.
- [2] Chen et al. 2011. *An Unstructured-Grid, Finite-Volume Community Ocean Model FVCOM User Manual (3RD Edition)*. New Bedford: School for Marine Science and Technology University of Massachusetts-Darmouth.
- [3] Fitroh, Mohamad Aria Misbahul. 2013. *Studi Stratifikasi Suhu dan Salinitas di Teluk Balikpapan Menggunakan Model Hidrodinamika Tiga Dimensi*. Skripsi. Samarinda: Universitas Mulawarman.
- [4] Harlan, Dhemi. 2011. *Penerapan Model FVCOM untuk Pemodelan Gelombang Tsunami di Pulau Sipora, Kepulauan Mentawai*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [5] Maharta, I Putu Ranu Fajar. 2018. *Prediksi Laju Sedimentasi di Perairan Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik*. *Journal of Marine and Aquatic Science*. 5(1), 44-54.
- [6] Minarrohman, M. G. Kamal. 2017. *Simulasi Arus dan Distribusi Sedimen Secara 3 Dimensi di Pantai Selatan Jawa*. Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Nurjaya, I Wayan. 2009. *Studi Pendahuluan Kondisi Oseanografi Fisik pada Musim Barat di Perairan Pantai Timur Kalimantan antara Balikpapan dan Delta Mahakam*. *Jurnal Kelautan Nasional*. 1, 140-150.
- [8] Rachman, Herlambang Aulia. 2016. *Studi Transpor Sedimen di Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik*. *Jurnal Kelautan*. 9(2), 144-154.
- [9] Respati, Anggi F. 2018. *Analisis Data Arus Pasang Surut dan Arus Non Pasang Surut di Sebagian Selat Bangka*. *Maspari Journal*. 12(1), 25-32.
- [10] Tanto, Try Al. 2017. *Karakteristik Arus Laut Perairan Teluk Benoa-Bali*. *Jurnal Ilmiah Geomatika*. 23(1), 37-48.