

PEMODELAN ARUS PASANG SURUT DI TELUK PALU MENGUNAKAN MODEL HIDRODINAMIKA 2 DIMENSI

Manasye Micel Boediman^{1,3}, Muhammad Riza^{2,3*}, Idris Mandang^{2,3}

¹Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

²Program Studi Geoisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

³Laboratorium Oceanografi, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

*Corresponding Author: muhammad.riza@fmipa.unmul.ac.id

Manuscript received: February 27, 2024; Received in revised form: 27 February, 2026;

Accepted: 28 February, 2026

ABSTRACT

This study aims to identify tidal-driven ocean current patterns in Palu Bay waters using the 3D hydrodynamic model ECOMSED (Estuarine Coastal and Ocean Modeling System with Sediment). The simulation was conducted for 30 days in January 2017 and validated using tidal data from DISHIDROS (Indonesian Navy Hydro-Oceanographic Office), yielding an RMSE (Root Mean Square Error) of 0.13833 m. The results show differences in current patterns and velocities between spring and neap conditions, with a spring-tide current speed of 0.16 m/s and a neap-tide current speed of 0.18 m/s, indicating that currents during neap tides are stronger than during spring tides. The tidal residual current exhibits a diverse eddy pattern, including a large anti-cyclonic eddy in the central bay, a smaller anti-cyclonic eddy, and a cyclonic eddy near the bay head. These findings confirm that tidal currents and the associated residual circulation in Palu Bay form a distinct eddy-driven circulation, with stronger current intensity under neap conditions than under spring conditions.

Keywords: Hydrodynamic model, Palu Bay, tidal, residual current.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi pola arus laut yang dibangkitkan oleh pasang surut di Perairan Teluk Palu menggunakan model hidrodinamika 3D ECOMSED (*Estuarine Coastal and Ocean Modeling System with Sediment*). Simulasi dilakukan selama 30 hari pada Januari 2017 dan diverifikasi menggunakan data pasang surut dari DISHIDROS (Dinas Hidro-Oseanografi Angkatan Laut), dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 0.13833 m. Hasil simulasi menunjukkan perbedaan pola arus dan kecepatan pada kondisi *spring* dan *neap*, dengan kecepatan arus saat *spring* sebesar 0.16 m/s dan saat *neap* sebesar 0.18 m/s, sehingga kecepatan arus pada *neap* lebih tinggi dibandingkan *spring*. Arus residu yang dibangkitkan oleh pasang surut memperlihatkan pola *eddy* yang bervariasi, yaitu terbentuk *eddy* antisiklonik besar di tengah teluk, *eddy* antisiklonik yang lebih kecil, serta *eddy* siklonik di ujung teluk. Temuan ini menegaskan bahwa dinamika arus pasang surut dan arus residu di Teluk Palu membentuk sirkulasi *eddy* yang khas, dengan intensitas arus yang lebih kuat pada kondisi *neap* dibandingkan *spring*.

Kata Kunci: Model hidrodinamika, Teluk Palu, pasang surut, arus residu.

1. PENDAHULUAN

Teluk merupakan daerah perairan semi tertutup yang menjorok ke daratan. Lingkungan perairan di teluk tidak terlepas dari pengaruh laut di sekitarnya seperti sirkulasi arus yang terbentuk akibat pasang surut laut di perairan teluk itu berada. Indonesia memiliki banyak teluk karena merupakan negara kepulauan dengan wilayah perairan yang luas dan karakteristik perairan pada setiap teluk tentu berbeda. Untuk mengetahui karakteristik perairan teluk seperti sirkulasi dan pola arus laut, dapat diketahui dengan memodelkan dinamika laut di teluk tersebut.

Arus laut merupakan perpindahan massa air dari satu tempat ke tempat lain akibat berbagai faktor diantaranya gradien tekanan, hembusan angin dan pasang surut [1]. Angin dan pasang surut merupakan faktor dominan yang mempengaruhi arus laut di perairan Indonesia [2]. Faktor yang membangkitkan arus laut di suatu perairan berbeda berdasarkan bentuk perairan daerah tersebut. Arus laut di perairan dangkal dibangkitkan oleh gelombang laut, pasang surut atau angin sampai tingkat tertentu. Pasang surut merupakan gaya penggerak utama sirkulasi massa air di perairan sempit dan semi tertutup seperti selat dan teluk [3]. Arus pasang surut pada suatu daerah perairan dapat diestimasi dari pendekatan model yang dideterminasi dari komponen harmonik pasang surut perairan [4].

Dinamika pergerakan arus dan gelombang di perairan Teluk Palu bervariasi. Dinamika gelombang pasang surut dan angin di permukaan perairan Teluk Palu berkontribusi terhadap pola arus laut [5]. Profil kecepatan arus di Teluk Palu dilemahkan oleh gesekan dasar dan perpindahan massa air sangat kecil karena siklonik yang terbentuk tidak cukup kuat [6]. Penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada pengaruh gelombang permukaan terhadap variasi arus laut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pola arus permukaan serta arus residu yang dibangkitkan oleh pasang surut di

Perairan Teluk Palu dengan menggunakan model *Estuarine Coastal and Ocean Modeling System with Sediment* (ECOMSED).

2. TEORI DAN METODE

2.1 Model Hidrodinamika

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Estuarine Coastal and Ocean Modeling System with Sediment* (ECOMSED). Model ECOMSED dibangun pada pertengahan tahun 1980-an yang merupakan pengembangan dari *Princeton Ocean Model* (POM) dan versi ini digunakan untuk lingkungan perairan dangkal seperti sungai, teluk, estuari dan perairan pantai serta waduk dan danau sehingga dinamakan *Estuarine Coastal and Ocean Modeling System* (ECOM).

Model ini dirancang untuk mensimulasikan distribusi tinggi muka air, arus, temperatur, salinitas, transpor, sedimen kohesif dan nonkohesif serta gelombang dalam sistem perairan air laut dan air tawar. ECOMSED memiliki kemampuan untuk menjalankan model yakni hidrodinamika, transpor sedimen kohesif dan nonkohesif, jejak transpor sedimen larut dan terikat, jejak partikel dan efek gelombang angin terhadap hidrodinamika dan transpor sedimen.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV$$

$$= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} - fU = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_y \quad (2)$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (3)$$

U , V dan W adalah komponen kecepatan arus dalam arah x , y dan z ; t adalah waktu; f adalah parameter Coriolis; ρ_0 adalah densitas acuan; ρ adalah densitas insitu; P adalah tekanan; K_m adalah difusitas vertikal eddy pada pencampuran turbulensi maksimum; F_x

dan F_y adalah suku dari proses pencampuran horisontal; dan g adalah percepatan gravitasi [7].

2.2 Rancangan Penelitian

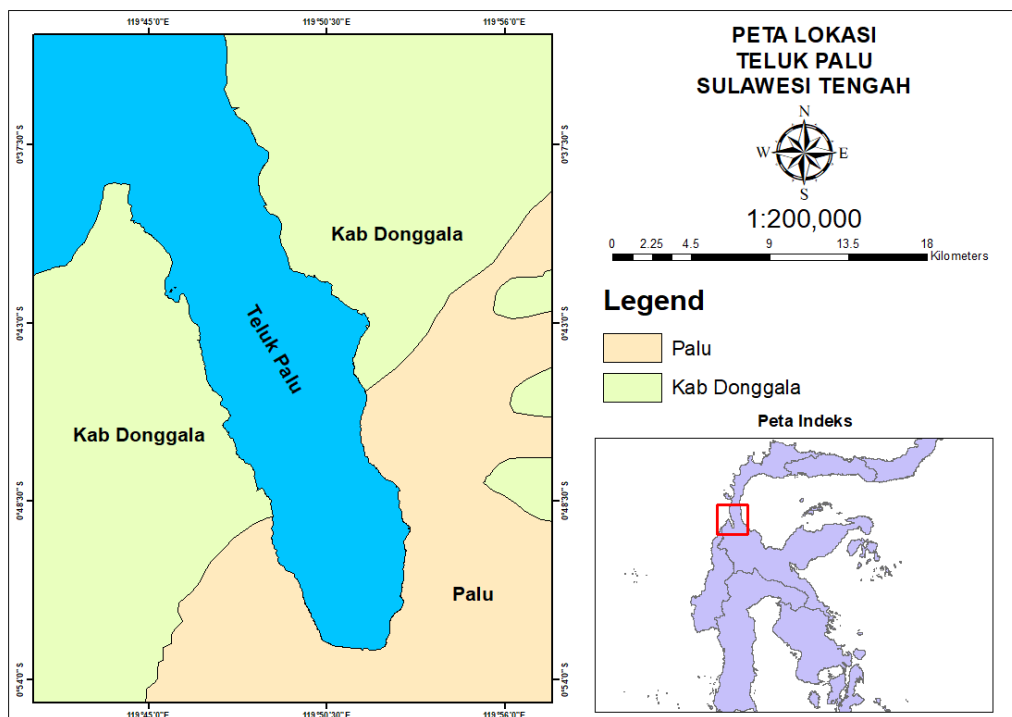
Pada penelitian ini, dilakukan tahapan-tahapan pengerjaan yaitu setting model, verifikasi hasil model dan analisis hasil model. Parameter yang digunakan dalam model ini yaitu amplitudo dan fase pasang surut dimasukkan sebagai nilai awal pada syarat batas dalam model. Simulasi dijalankan selama 1 bulan dalam model. Penelitian dimulai dengan studi literatur, penentuan lokasi penelitian, serta pengumpulan data. Selanjutnya dilakukan tahap input data yang mencakup batimetri, amplitudo, fase, temperatur, dan salinitas. Setelah itu dilakukan setting model dengan menetapkan nilai awal, waktu simulasi, dan grid model. Output dari proses pemodelan menghasilkan elevasi, temperatur, salinitas,

dan arus. Hasil model kemudian diverifikasi; jika verifikasi tidak memenuhi, proses kembali ke tahap setting model untuk perbaikan, sedangkan jika verifikasi memenuhi, dilanjutkan ke pembahasan dan analisis hasil hingga penelitian selesai. untuk mendapatkan sirkulasi arus pasang surut.

Verifikasi model dilakukan dengan membandingkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) data pasang surut observasi dengan data pasang surut hasil dari model. Kemudian, hasil dari model divisualisasikan menggunakan software GNU Octave. Alur penelitian ini lengkapnya disajikan dalam bentuk flowchart pada Gambar 2.

2.3 Lokasi Penelitian

Daerah yang menjadi fokus penelitian berada di wilayah Teluk Palu Sulawesi Tengah pada koordinat $0^{\circ}36'19.00''$ LU sampai $0^{\circ}54'59.04''$ LU dan $119^{\circ}42'1.44''$ BT sampai $119^{\circ}56'55.68''$ BT.



Gambar 1. Daerah Penelitian Teluk Palu

2.4 Data Penelitian

2.4.1 Grid

Wilayah yang digunakan mempunyai panjang ± 34 km dan lebar ± 22 km dengan menggunakan grid model berukuran $\Delta x = \Delta y = \pm 100$ meter.

2.4.2 Batimetri

Data batimetri Teluk Palu yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*) Data tahun 2020,

kemudian diolah kembali untuk digunakan sebagai input model.

2.4.3 Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh dari model prediksi pasang surut Pusat Riset Kelautan (Pusriskel) yang kemudian diolah menggunakan ADMIRALTY untuk mendapatkan fase dan amplitudo pasang surut sebagai input model.

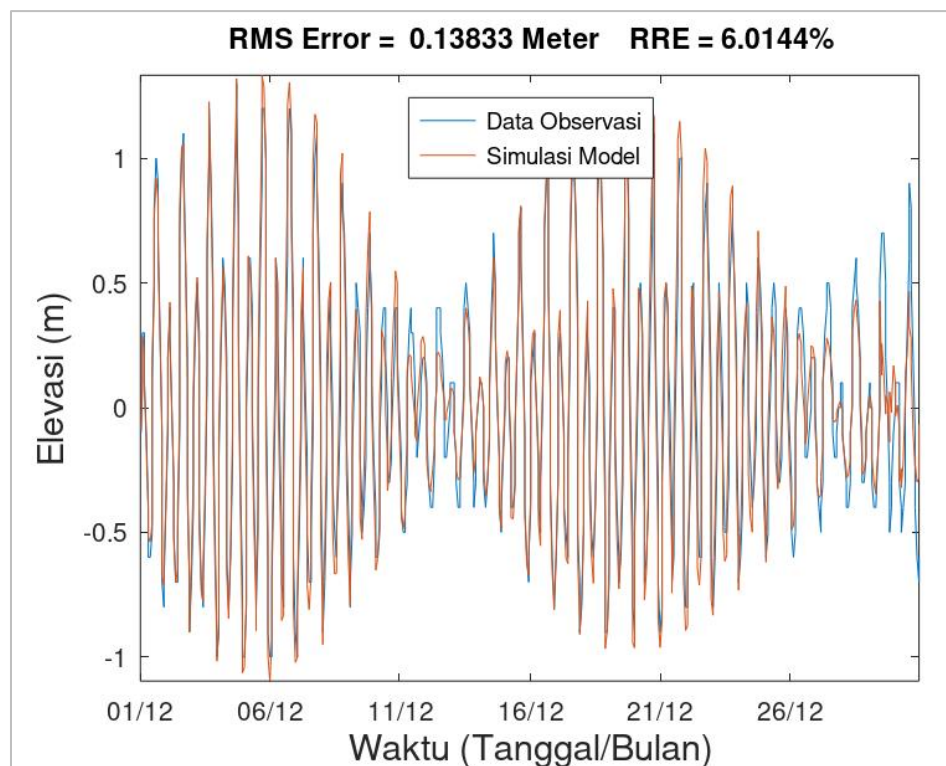
2.4.4 Data Observasi

Data observasi sebagai verifikasi hasil model menggunakan data pasang surut 1 bulan dari DISHIDROS TNI AL tahun 2017 pada tanggal 1 Desember sampai 31 Desember.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi Model

Model dijalankan selama 30 hari (1 – 30 Desember 2017) dan divalidasi dengan hasil pengukuran pasang surut dari DISHIDROS di Pelabuhan Pantoloan untuk bulan Desember 2017 ditunjukkan pada **Gambar 2**. Hasil model memperlihatkan kesesuaian yang baik dengan hasil pengukuran dengan korelasi pasang surut 0.13833 meter dan nilai *error* 6.0144%, sehingga model dianggap mewakili kondisi lingkungan Teluk Palu.



Gambar 2. Validasi Model

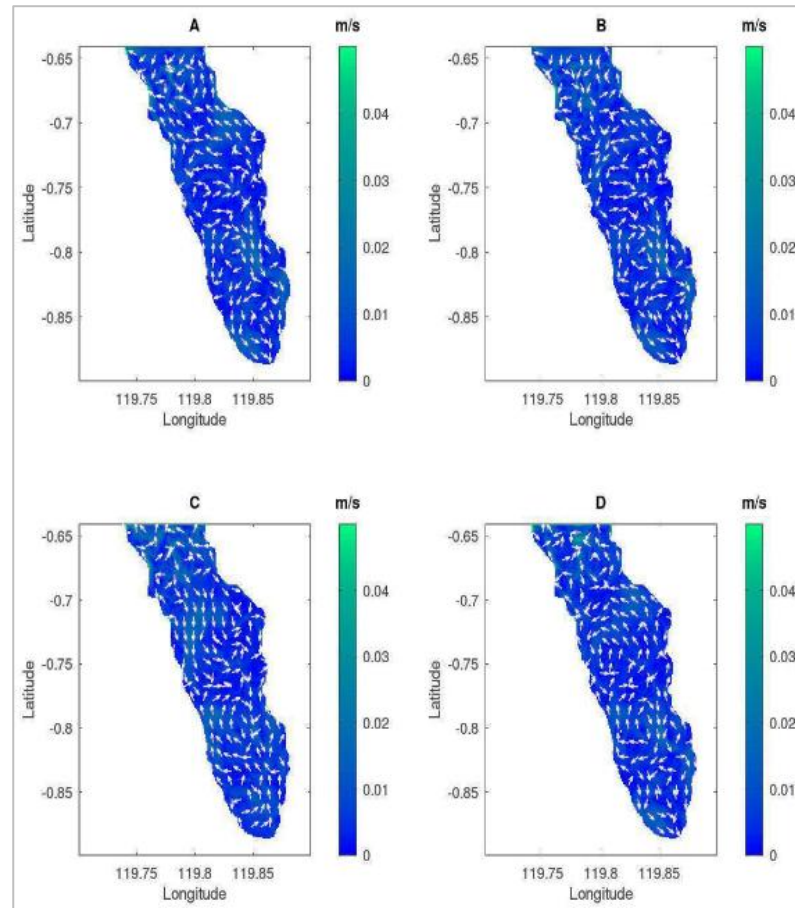
3.2 Distribusi Arus Permukaan

Pergerakan arus pada kondisi *spring* dapat dilihat pada Gambar 3, saat menuju pasang, arus bergerak masuk ke teluk dari Selat Makassar dan sebagian arus keluar dari teluk setelah bergerak acak dari dalam teluk. Kecepatan arus pada saat menuju pasang berkisar 0.01 m/s sampai 0.08 m/s. Pada saat pasang tertinggi arus bergerak secara acak di bagian dalam teluk dan ada sebagian arus berasal dari Selat Makassar masuk ke dalam

teluk, sedangkan di bagian tengah teluk, arus bergerak berlawanan arah jarum jam. Kecepatan arus saat pasang tertinggi berkisar 0.01 m/s sampai 0.05 m/s. Saat menuju surut, pola pergerakan arus berubah, sebagian arus bergerak ke arah Selat Makassar pada mulut teluk sedangkan pada bagian tengah teluk, arus bergerak ke bagian dalam teluk dan pada bagian dalam teluk arus berbelok menuju bagian tengah teluk. Kecepatan arus saat menuju surut berkisar 0.01 m/s sampai 0.1

m/s. Pada saat surut terendah arus bergerak berlawanan arah jarum jam di bagian tengah teluk dan sebagian arus berbelok ke arah Selat Makassar, sedangkan di bagian dalam teluk

arus bergerak searah jarum jam kemudian berbelok ke bagian tengah teluk. Kecepatan arus saat surut terendah berkisar 0.01 m/s sampai 0.16 m/s.

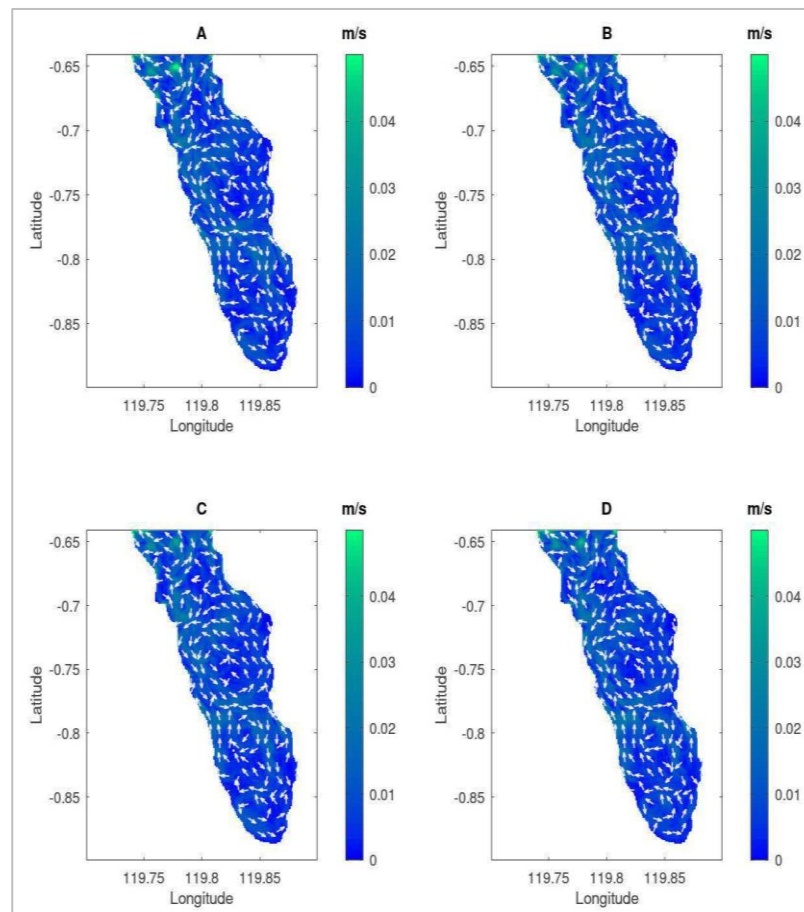


Gambar 3. Distribusi Arus *Spring*: (A) Menuju Pasang; (B) Pasang Tertinggi; (C) Menuju Surut; dan (D) Surut Terendah.

Pergerakan arus pada kondisi *neap* dapat dilihat pada Gambar 4, saat menuju pasang dan pasang tertinggi arus bergerak tidak beraturan di daerah mulut teluk sedangkan di bagian tengah teluk arus bergerak berlawanan arah jarum jam dan sebagian arus berbelok ke dalam teluk. Kecepatan arus berkisar 0.01 m/s sampai 0.15 m/s. Pada saat menuju surut dan surut terendah pola pergerakan arus menunjukkan pola yang mirip saat menuju pasang dan pasang tertinggi. Kecepatan arus berkisar 0.01 m/s sampai 0.18 m/s.

Hasil pola arus pada model menunjukkan pergerakan arus di Teluk Palu dibangkitkan oleh pasang surut, tetapi sangat dipengaruhi oleh bentuk topografi. Perbedaan arah vektor yang secara konseptual diharapkan memasuki

teluk saat menuju pasang pada kondisi spring tidak sepenuhnya tampak pada hasil plot arus. Arus dari Selat Makassar yang masuk melalui mulut teluk kemudian dibelokkan di dalam teluk dan membentuk pusaran (eddy) antisiklonik, yaitu sirkulasi berputar yang arahnya berlawanan dengan eddy siklonik (arah putarnya mengikuti tanda Coriolis setempat), sehingga vektornya dapat terlihat seolah-olah mengarah keluar teluk. Pada kondisi menuju surut spring, arus memang cenderung bergerak keluar teluk menuju Selat Makassar, namun sebagian besar aliran kembali dibelokkan ke bagian dalam teluk dan membentuk eddy siklonik (pusaran dengan arah putaran kebalikan dari antisiklonik) di area dalam teluk.



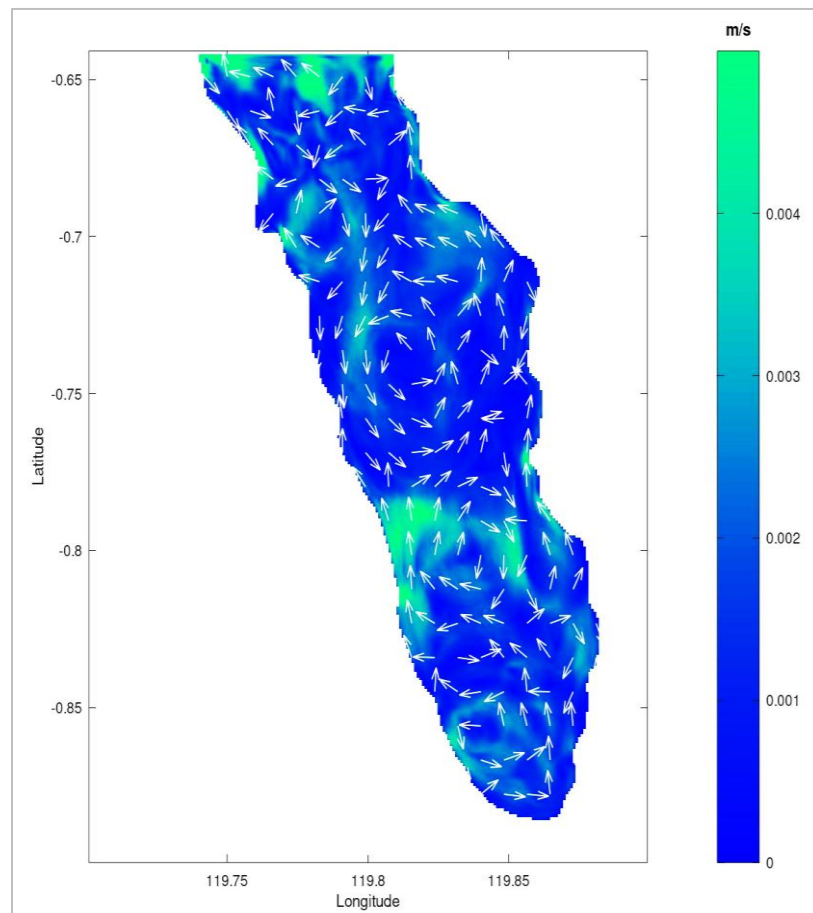
Gambar 4. Distribusi Arus *Neap*: (A) Menuju Pasang; (B) Pasang Tertinggi; (C) Menuju Surut; (D) Surut Terendah.

Pergerakan arus ini disebabkan topografi Teluk Palu yang sempit dan juga dalam, kedalaman maksimal di Teluk Palu berkisar ± 350 m sehingga arah dan kecepatan arus di dalam teluk seperti tidak dipengaruhi oleh kondisi pasang surut karena penurunan kedalaman yang cepat di dekat garis pantai. Pada kondisi *neap* menampilkan pola arus yang sama dimana terbentuk *eddy* antisiklonik yang besar di bagian tengah teluk, hal ini dikarenakan kecepatan arus yang tinggi saat *neap* sehingga perpindahan massa air yang cepat saat melalui teluk yang sempit dan dalam membentuk pola arus yang sama.

3.3 Arus Residu

Berdasarkan hasil model, didapatkan pola pergerakan arus residu yang terbentuk di Teluk Palu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 menunjukkan arus residu yang diperoleh dari perata-rataan waktu (time-

mean) atau penyaringan low-pass terhadap arus total hasil simulasi, sehingga komponen osilasi pasang surut tersaring dan tersisa sirkulasi rerata. Pada daerah tengah teluk terbentuk aliran arus *eddy* antisiklonik pada bagian tengah teluk dan aliran arus *eddy* siklonik di ujung teluk. Aliran arus berasal dari bagian dalam teluk yang bergerak kemudian sebagian arus berbelok ke bagian tengah teluk. Di bagian utara teluk, arus membentuk pola acak tidak beraturan. Arus yang berbelok ke barat bergerak di daerah pesisir menuju tengah teluk dan arus yang berasal dari dalam teluk berbelok ke timur sehingga membentuk pola arus *eddy* antisiklonik di tengah teluk. Di bagian selatan teluk terbentuk arus *eddy* siklonik berasal dari pergerakan arus yang bergerak ke utara dan berbelok ke timur menuju tengah teluk.



Gambar 5. Arus Residu di Teluk Palu

Pola pergerakan arus residu di Teluk Palu membentuk dua *eddy* antisiklonik dan satu *eddy* siklonik. Pada bagian tengah teluk terbentuk *eddy* antisiklonik yang paling besar dan pergerakan arus tersebut mempengaruhi aliran air di dalam teluk, sehingga arus berbelok membentuk *eddy* siklonik di bagian dalam teluk. Pada bagian ujung teluk paling dalam terbentuk *eddy* antisiklonik kedua yang ukurannya lebih kecil akibat pengaruh *eddy* siklonik di atasnya. Arah aliran arus residu ini juga disebabkan oleh topografi dan bentuk dasar laut yang mempengaruhi pola pergerakan arus. Keberadaan arus residu mempengaruhi kondisi lingkungan teluk karena materi, komposisi sedimen dan polutan yang tersebar dan mengendap di teluk ditentukan dari pertukaran massa air yang disebabkan oleh arus residu.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menggambarkan pola arus permukaan dan arus residu yang dibangkitkan oleh pasang surut di Perairan Teluk Palu menggunakan model hidrodinamika ECOMSED. Hasil verifikasi menunjukkan model cukup merepresentasikan pasang surut observasi dengan RMSE sebesar 0.13833 m, sehingga layak digunakan untuk analisis pola arus. Pola arus permukaan menunjukkan perbedaan karakter dan besaran kecepatan antara kondisi *spring* (purnama) dan *neap* (perbani), dengan kecepatan arus pada kondisi *neap* lebih tinggi dibanding *spring* (maksimum sekitar 0.18 m/s pada perbani dan 0.16 m/s pada *spring*). Arus residu yang terbentuk memperlihatkan sirkulasi *eddy* yang khas, yaitu dua *eddy* antisiklonik dan satu *eddy* siklonik (*eddy* antisiklonik dominan di tengah teluk, serta *eddy* lain di bagian dalam/ujung teluk), yang

mengindikasikan adanya kecenderungan retensi massa air/partikel di dalam teluk.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pariwono, J. I. 1999. Kondisi Oseanografi Perairan Pesisir Lampung. Proyek Pesisir Publication, Technical Report (TE – 99/12 -I) Coastal Resources Center, University of Rhode Island. Jakarta, Indonesia. 28p
- [2] Sugianto, D. N dan Agus ADS. 2007. Studi Pola Sirkulasi Arus Laut di Perairan Pantai Provinsi Sumatera Barat. Jurnal Ilmu Kelautan. UNDIP. Vol. 12 (2): 79 – 92, p.80
- [3] Dahuri, R., J. Rais, S. P. Ginting, dan Sitepu. 2013. Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu. Balai Pustaka Press: Cetakan ke-5, 328 hal, p.36. Jakarta
- [4] Rampengan, R. M. 2009. Pengaruh Pasang Surut pada Pergerakan Arus Permukaan di Teluk Manado. Jurnal Perikanan dan Kelautan. UNSRAT. Vol. V (3): 15-19
- [5] Arianty, N., Mudin, Y., & Rahman, A. 2017. Pemodelan Refraksi Gelombang dan Analisis Karakteristik Gelombang Laut Di Perairan Teluk Palu. Jurnal Gravitasi, 16(2), 23-30
- [6] Sabhan. 2020. Model Perpindahan Vertikal Massa Air oleh Interaksi Arus dan Topografi di Teluk Palu. Universitas Tadulako. Palu
- [7] Hydroqual. 2002. A Primer for Ecomsed Version 1.3 User Manual. Hydroqual, Inc: New Jersey, USA