

Review Penentuan *Residence Time* Partikel pada Perairan

Dwi Sukma Wahyuni¹, Engki A Kisnarti²

^{1,2}Program Studi Oseanografi, Universitas Hang Tuah
Korespondensi: sukma.ose20@hangtuah.ac.id

Abstrak

Residence time merupakan lama waktu tinggal suatu partikel di perairan. Pergerakan partikel dapat dianalisis dengan menggunakan parameter sirkulasi arus. Kajian berdasarkan literatur yang ada bertujuan untuk mengetahui dan mendeskripsikan lama waktu tinggal partikel di perairan. Berdasarkan tujuan tersebut, mengidentifikasi lama waktu tinggal suatu partikel (*residence time*) pada musim kemarau dan hujan di Perairan Nusa Penida. Dalam mendeskripsikan pergerakan partikel dimodelkan menggunakan model numerik hidrodinamika khususnya model Lagrange *Finite Volume Coastal Ocean Model* (FVCOM). Kemudian, perspektif global tentang model simulasi Coastal Residence Time (CRT) dan variabilitas spatio-temporal. Selanjutnya, mengenai waktu tinggal polutan dan transport lintasan (*trajectory*) di Teluk Tieshangang. Model yang digunakan untuk menentukan pergerakan partikel, yaitu model numerik hidrodinamika khususnya menggunakan Mike 21 FM dan CRT (*Coastal Residence Time*). Hasil dari model CRT dengan resolusi tinggi memiliki nilai error yang lebih kecil, dibandingkan menggunakan model FVCOM. Karakteristik CRT sendiri menggunakan cara logaritmik sehingga memiliki *grid* yang sama untuk menentukan lama waktu tinggal partikel. Hasil visualisasi menggunakan Mike 21 FM terlihat jelas pergerakan partikelnya di setiap musim yang diamati. Pergerakan partikel saat musim hujan lebih cepat, dibandingkan saat musim kemarau.

Kata kunci: *residence time*, partikel, CRT, Mike 21 FM

Abstract

Residence time is the length of time a particle stays in the water. Particle movement can be analyzed using circulation parameters current. The study based on existing literature existing literature aims to determine and describe the length of time residence time of particles in the water. Based on this objective, identifying the length of residence time of a particle in the dry and rainy seasons in the Nusa Penida Nusa Penida waters. In describing particle movement is modeled using a numerical model of hydrodynamics model, especially the Lagrange Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM). Then, a global perspective on the simulation model Coastal Residence Time (CRT) and spatio-temporal variability. Next, on pollutant residence time and transport trajectory in Tieshangang Bay. Tieshangang Bay. The model used to determine particle movement is a numerical model of hydrodynamics, specifically using Mike. hydrodynamics, specifically using Mike 21 FM and CRT (Coastal Residence Time). The results of the CRT model with high resolution have a smaller error value than using the FVC model. compared to using the FVCOM model. Characteristics CRT itself uses logarithmic method so that it has the same grid to determine the length of residence time particles. Visualization results visualization using Mike 21 FM clearly shows the particle movement in each of the seasons observed. Particle movement during the rainy season is faster than during the dry season. during the dry season.

Key words: *residence time, particles, CRT, Mike 21 FM*

PENDAHULUAN

Arus merupakan pergerakan suatu massa air yang disebabkan oleh tiupan angin, perbedaan kedalaman, perbedaan densitas, dan pergerakan gelombang (Nontji, 1993). Arus laut terbagi dua kategori, yaitu arus permukaan laut dan arus dalam laut. Arus permukaan laut terjadi karena faktor tiupan angin sedangkan arus dalam laut yang ditimbulkan oleh arus termohalin. Arus termohalin terjadi diakibatkan adanya perbedaan densitas karena adanya perubahan suhu dan salinitas massa air laut. Namun, arus termohalin juga dapat terjadi di permukaan laut yang ditimbulkan oleh angin yang terjadi hingga dasar laut (Nining, 2002; Azis, 2006). Arus juga digunakan sebagai parameter untuk menganalisis *residence time* partikel pada suatu perairan (Anom dkk., 2020).

Residence time diartikan sebagai lama waktu tinggal suatu partikel yang masuk dan keluar dalam suatu kolom air. Lama waktu tinggal suatu partikel, sangat dipengaruhi oleh adanya proses hidrodinamika, meteorologi, geomorfologi, karakteristik partikel yang berbeda-beda, dan posisi pelepasan, serta perpindahan partikel (Zhang dkk., 2012; Anom dkk., 2020). Lama waktu tinggal sebagian besar terbatas pada skala regional dan model sintesis yang digunakan, seperti model laut global $1/2^\circ$ yang digunakan oleh Bourgeois dkk., (2016); Liu dkk., (2019) untuk menghitung waktu tinggal di setiap domain pantai.

Pola pergerakan dan lama waktu tinggal suatu partikel di perairan dapat diketahui dengan menggunakan beberapa metode, yaitu: observasi secara langsung di lapangan ataupun pemodelan numerik hidrodinamika (Huang dkk., 2008; Anom dkk., 2020). Pemodelan dengan metode numerik hidrodinamika merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memprediksi pergerakan partikel (Anom dkk., 2020). Metode pemodelan numerik hidrodinamika telah banyak dikembangkan, salah satunya adalah *Finite Volume Coastal Ocean Model* (FVCOM) (Chen dkk., 2006; Anom dkk., 2020). Sementara itu, untuk mengetahui pergerakan partikel dilakukan dengan menggunakan metode Lagrange (Anom dkk., 2020).

Berdasarkan penjelasan di atas, penulisan ini bertujuan untuk mengkaji tentang:

1. Lama waktu tinggal suatu partikel (*residence time*) pada musim kemarau dan hujan di perairan Nusa Penida dengan menggunakan model *Lagrange Finite Volume Coastal Ocean Model* (FVCOM) (Anom dkk., 2020).
2. Memberikan perspektif global tentang model simulasi *Coastal Residence Time* (CRT) dan variabilitas *spatio-temporal* menggunakan CRT (Liu dkk., 2019).
3. Waktu tinggal polutan dan transport lintasan (*trajectory*) di Teluk Tieshangang menggunakan model CRT dengan resolusi yang berbeda (Jiang dkk., 2017).

Berdasarkan uraian di atas, untuk mengetahui metode pemodelan dalam menentukan *residence time* partikel di perairan.

METODE PENELITIAN

Anom dkk. (2020) melakukan penelitian di perairan Nusa Penida yang terletak di Kecamatan Nusa Penida, Kabupaten Klungkung, Bali Gambar 1 dengan menggunakan model *Lagrange Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM)* dikembangkan oleh Chen dkk. (2006). Simulasi model dilakukan pada Januari (musim barat) dan Juli (musim timur) 2019. Pengambilan data *in situ* berupa data kecepatan arus, arah arus, dan pergerakan partikel. Data tersebut digunakan sebagai *input* dalam model untuk menghitung dan menganalisis lama waktu tinggal partikel dan validasi data model.



Gambar 1. Lokasi pelepasan partikel dan pembagian daerah analisis (Sumber: Google Earth).

Pergerakan partikel yang disimulasikan pada metode *Lagrange Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM)*, diasumsikan memiliki densitas yang sama. Berikut ini merupakan persamaan hidrodinamika tiga dimensi (3D) yang terdapat dalam FVCOM dari persamaan kontinuitas (1), momentum (2-4), temperatur (5), salinitas (6), densitas (7), dan elevasi pasang surut (8):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Du}{\partial x} + \frac{\partial Dv}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial uD}{\partial t} + \frac{\partial u^2D}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} + \frac{\partial u\omega}{\partial \sigma} - fvD = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gD}{\rho_0} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma' \right) + \partial \rho \frac{\partial D}{\partial x} \right] + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + DF_x \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial vD}{\partial t} + \frac{\partial v^2D}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial \sigma} - fuD = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gD}{\rho_0} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(D \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma' \right) + \partial \rho \frac{\partial D}{\partial y} \right] + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + DF_w \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{\partial wD}{\partial t} + \frac{\partial uwD}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} + \frac{\partial w\omega}{\partial \sigma} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial q}{\partial \sigma} + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_m}{D} \frac{\partial w}{\partial \sigma} \right) + DF_w \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TuD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} + \frac{\partial w\omega}{\partial \sigma} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial q}{\partial \sigma} + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) + DH + DF_T \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SuD}{\partial x} + \frac{\partial SvD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_h \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) + DF_S \dots \dots \dots (6)$$

$$\rho = \rho(T, S) \dots \dots \dots (7)$$

$$\zeta_0 = \zeta_0 + \sum_{i=1}^{N_0} \cos(\omega_i t - \theta_i) \dots \dots \dots (8)$$

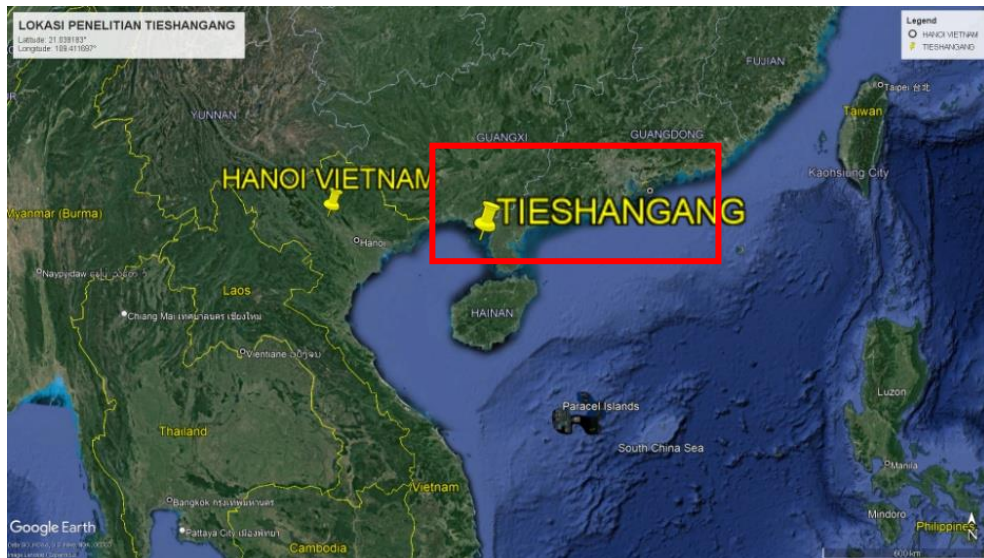
dengan x merupakan arah barat dan timur, y adalah arah utara dan selatan, dan σ untuk arah vertikal dalam sistem koordinat kartesian; u , v , dan ω adalah komponen kecepatan arus (m/s); (T) adalah temperatur ($^{\circ}C$); S adalah salinitas (ppt); ρ adalah densitas akhir (kg/m^2); ρ_0 adalah densitas awal (kg/m^2); f yaitu gaya coriolis ($^{\circ}$); g adalah gravitasi (m/s); K_m adalah *vertical eddy viscosity* (m^2/s); dan K_h adalah *thermal vertical diffusion coefficient* (m^2/s). F_x , F_y , F_T , dan F_S menunjukkan gesekan dari arah x dan y , thermal, dan difusi salinitas (N); D adalah total kedalaman kolom perairan (m); (H) adalah penyerapan radiasi ke kolom perairan; ζ adalah tinggi elevasi permukaan perairan (m); $\zeta_i, \omega_i, \theta_i$ menyajikan amplitude (m), frekuensi (s), dan *phase* dari pasang surut ($^{\circ}$), t adalah waktu (s). Dalam penelusuran partikel, persamaan yang digunakan pada model perhitungan numerik yaitu persamaan model *Lagrangian* (Chen dkk., 2006; Anom dkk., 2020) sebagai berikut:

$$x_{n+1} = x_n + \Delta t \left[\frac{u(\xi_1, \eta_1)}{6} + \frac{u(\xi_2, \eta_2)}{3} + \frac{u(\xi_3, \eta_3)}{3} + \frac{u(\xi_4, \eta_4)}{6} \right] \dots \dots \dots (9)$$

$$y_{n+1} = y_n + \Delta t \left[\frac{v(\xi_1, \eta_1)}{6} + \frac{v(\xi_2, \eta_2)}{3} + \frac{v(\xi_3, \eta_3)}{3} + \frac{v(\xi_4, \eta_4)}{6} \right] \dots \dots \dots (10)$$

dengan x dan y adalah posisi partikel pada saat waktu t , sedangkan u dan v merupakan medan kecepatan serta Δt merupakan selisih waktu. Analisis waktu tinggal

partikel dapat dilihat dari berapa lama partikel berada dalam suatu area dengan interval waktu perjam pada grid 500 x 500 m. Data arus dan pergerakan partikel dari hasil model divalidasi dengan data pengukuran insitu yang diambil menggunakan *drifter* selama 12 jam pada 15 Februari 2019. Komponen arus yang divalidasi adalah arah dan kecepatan hasil simulasi dan observasi pada Gambar 4 (Anom, 2020). Jiang dkk., (2017) melakukan penelitian di Teluk Tieshangang yang terletak di timur laut Teluk Beibu Cina (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi penelitian partikel (Sumber: Google Earth).

Model yang digunakan untuk mendeskripsikan pergerakan partikel adalah model Mike 21 FM. Model tersebut menggunakan *input* arus pasang surut pada monsun panas (angin selatan, 1 Mei 2004-31 Juli 2015) dan monsun dingin (angin timur, 1 November 2004-31 Januari 2015). Model ini merupakan model kedalaman yang dirata-ratakan secara 2D untuk menyelidiki pola pergerakan partikel di perairan. Oleh sebab itu, parameter pada Tabel 1 yang digunakan dalam penelitian pergerakan partikel di pemodelan MIKE 21 sebagai berikut.

Tabel 1. Parameter yang digunakan dalam model untuk skenario simulasi.

Parameter	Keterangan	Nilai
M	<i>Manning number</i> (kecepatan rata-rata)	32 m/s
Ev	<i>Smagorinsky factor for eddy viscosity</i>	0.28
Sv	Kecepatan pengendapan partikel	Tidak ada pengendapan
Dv	Dispersi vertikal	Tidak ada dispersi
DH	Dispersi horizontal	Berskala <i>eddy</i> formulasi <i>viscosity</i>

Berdasarkan gerak partikel yang ideal, perkiraan lama waktu tinggal suatu partikel pada pengamatan secara langsung menggunakan metode *Coastal Residence Time* (CRT) (Liu dkk., 2019). Untuk mengestimasi CRT, peneliti mengimplementasikan pelacakan *coastal-age* secara ideal dalam model di lokasi pengamatan (Gambar 3).

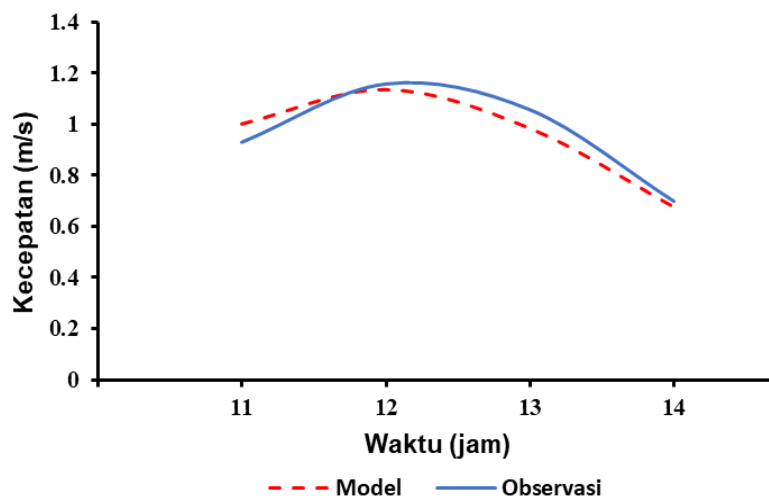


Gambar 3. Lokasi penelitian partikel (Sumber: Google Earth).

Metode ini biasa digunakan untuk memperkirakan waktu pertukaran massa air (England, 1995; Liu dkk., 2019). Karakteristik CRT menggunakan cara logaritmik, sehingga memiliki berat yang sama pada sel *grid* lama waktu tinggal (Liu dkk., 2019)

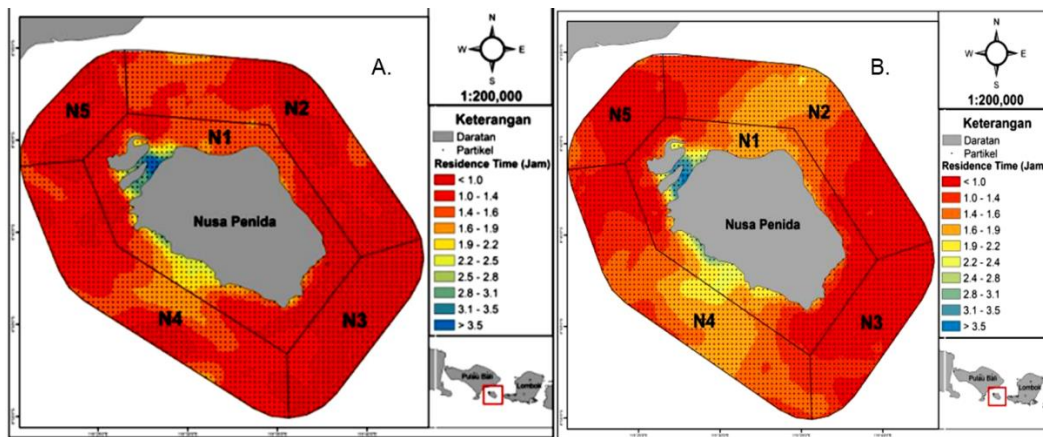
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola pergerakan (arah dan kecepatan arus) antara hasil simulasi dengan observasi hampir sama, yaitu ke barat dengan kecepatan 0,62-1,16 m/s (Gambar 4)



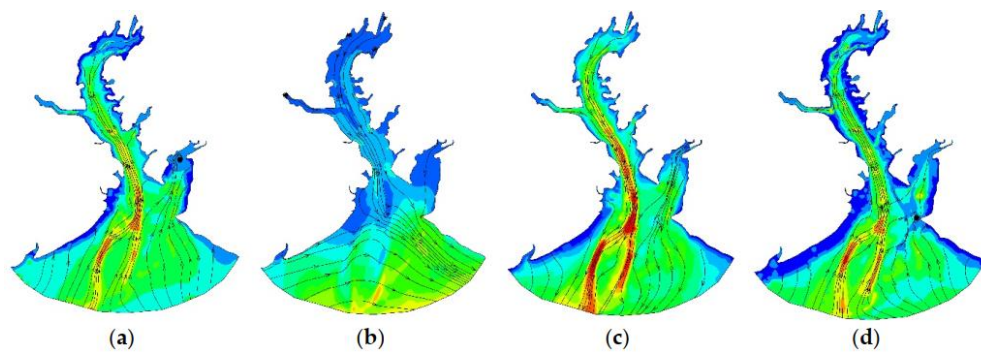
Gambar 4. Hasil model dan observasi.

Kecepatan arus hasil simulasi dan observasi menghasilkan nilai korelasi sebesar 0.95 m/s. Selisih jarak pergerakan partikel pada posisi akhir partikel hasil simulasi dengan observasi mempresentasikan perbedaan nilai sebesar 432,63 m. Lama waktu tinggal partikel di suatu daerah dapat dilihat dalam Gambar 5A, warna merah menunjukkan lama waktu tinggal partikel sangat singkat sedangkan warna biru menunjukkan lama waktu tinggal partikel yang lebih lama. Lama waktu tinggal partikel saat musim barat memiliki rata-rata lama waktu tinggal yang relative singkat, dengan lama waktu tinggalnya berkisaran antara 1 hingga 4 jam. Saat musim barat, rata-rata lama waktu tinggal relatif singkat, yaitu berkisaran antara 1-4 jam. Sebaliknya, pada Gambar 5A dan B lama waktu tinggal partikel pada musim timur lebih dari 4 jam (Anom, dkk. 2020).



Gambar 5. Pola lama waktu tinggal partikel pada A. musim barat, B. musim timur.

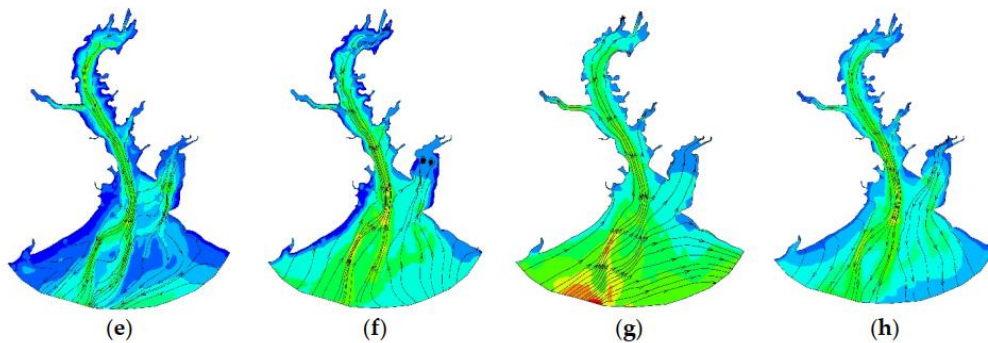
Hasil penelitian Jiang dkk. (2017) menunjukkan bahwa terdapat suatu karakteristik medan aliran dalam pergerakan partikel, yang secara signifikan memiliki pengaruh terhadap distribusi dan transpor polutan di Teluk Tieshangang. Lama waktu tinggal partikel di Teluk Tieshangang berkisaran 1800 s.



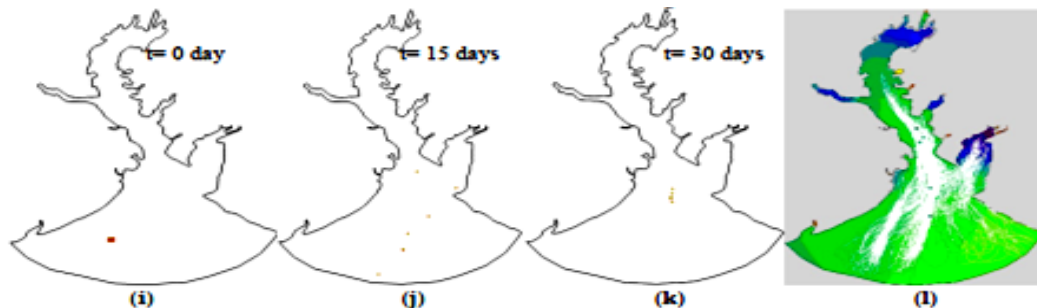
Gambar 6. Peta arus pasang surut saat *spring*.

Hasil simulasi *spring* dan *neap* lama waktu tinggal partikel di Teluk Tieshangang (Gambar 6). dapat dari rata-rata partikel awal pada kurun waktu dari 14,8-92 hari di tahun

simulasi. Lama waktu tinggal partikel memiliki perubahan besar antara tahun ke tahun. Pada Gambar 6 dapat dibagi menjadi fase penurunan cepat dan lambat, seperti terjadi penurunan kecepatan pergerakan partikel sangat drastis hingga 50% dari kecepatan partikel awal. Lama waktu tinggal partikel di teluk saat *neap* (Gambar 7). Gambar 6 dan 7 dapat dilihat pergerakan partikel yang dilepaskan selama simulasi 30 hari. Pelepasan partikel ini hampir 80% pindah ke laut lepas menggunakan model MIKE 21 FM (Jiang dkk., 2017). Hasil dari metode CRT (Gambar 8) terjadi pelepasan partikel pada perairan yang sangat besar berada di bagian mulut teluk saat musim panas (Liu dkk., 2019).



Gambar 7. Peta arus pasang surut saat *neap*



Gambar 8. Distribusi lintasan partikel pada sub-zona terpilih selama 1 juni-1 juli 2008 dan (j-k) mewakili pelepasan di palung barat terletak di pintu teluk (Liu dkk., 2019).

KESIMPULAN

Lama waktu tinggal suatu partikel (*residence time*) di Perairan Nusa Penida saat musim kemarau dan hujan di perairan Nusa Penida dengan menggunakan model *Lagrange Finite Volume Coastal Ocean Model* (FVCOM) terlihat visualisasi pergerakan pertikelnya lebih cepat saat musim hujan dibandingkan saat musim kemarau. Kemudian, perspektif global tentang model simulasi *Coastal Residence Time* (CRT) dan variabilitas *spatio-temporal* yang divisualisasikan menggunakan Mike 21 FM menghasilkan visualisasi *residence time* yang dapat mendeskripsikan pergerakan partikel di perairan.

Dalam menentukan waktu tinggal polutan dan transport lintasan (*trajectory*) di Teluk Tieshangang menggunakan model CRT dengan resolusi yang berbeda. Model CRT resolusi tinggi hasil simulasinya lebih bagus dan tingkat errornya lebih kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Ibu Dr. Engki A. Kisnarti selaku pembimbing dan tidak lupa kepada Ibu Mahmiah, S.Si., M.Si. selaku dosen penanggungjawab dan penguji dari tugas mata kuliah Kapita Selekt. Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung penulisan *review* jurnal ini.

REFERENSI

- Aziz, M. F. (2006). Gerak air di laut. *Oseana*. 31(4): 9-15.
- Anom, I. B. A. P., I Gede, H., dan I Dewa, N. N. P. (2020). Studi lama waktu tinggal partikel di kawasan Perairan Nusa Penida, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*. 3(2): 75-81.
- Bourgeois, T., Orr, J. C., Resplandy, L., Terhaar, J., Ethe, C., Gehlen, M., dan Bopp, L. (2016). Coastal-ocean uptake of anthropogenic carbon. *Biogeosciences*. 13(14). 4167-4185.
- Chen, C., Beardsley, R.C., dan Cowles, G. (2006). An unstructured grid, finitevolume coastal ocean model-FVCOM user manual, 2nd edn. *School for Marine Science and Technology, University of Massachusetts Dartmouth* (p.318).
- England, M.H. (1995). The age of water and ventilation timescales in a global ocean model. *Journal of Physical Oceanography*.25:2756-2777.
- Huang W., Liu X., dan Chen X. (2008). Numerical modeling of hydrodynamics and salinity transport In Little Manatee River. *J Coast Res Spec Issue*. 52: 13-24.
- Jiang, C., Yizhuang, L., dan Yuannan, L. (2017). Estimation of residence time and transport trajectory in Tieshangang Bay, China. *Water (Switzerland)*. 9(5): 1-15.
- Liu, X., John, P. D., Charles, A. S., Matthew, J. H., Alistair, A., dan Laure, R. (2019). Simulating water residence time in the coastal ocean: A global perspective. *Geophysical Research Letters*. 46(23). 10–19.
- Nining, S.N. (2002). *Oseanografi Fisis*. Kumpulan transparansi Kuliah Oseanografi Fisika, Program Studi Oseanografi, ITB.
- Nontji, A. (1993). *Laut Nusantara*. Djambatan. Jakarta.
- Zhang X., dan Wang P. (2012). Numerical study of residence time in Daliaohe Estuary. *International Conference on Computer Distributed Control and Intellingent Environmental Monitoring*. Hal.451-455.