

Simulasi Gerak Sampah Laut Terapung Menggunakan Model Numerik di Selat Bali

Floating Marine Debris Trajectory Simulation Using Numerical Modelling in the Bali Strait

Hanif Diastomo^{1*}, Totok Suprijo¹, Ivonne Milichristi Radjawane¹

¹Kelompok Keahlian Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132

*E-mail : hanifdiastomo@oceanography.itb.ac.id

Abstrak: Model numerik digunakan untuk simulasi arus di perairan Selat Bali dan pergerakan sampah laut terapung di sekitar wilayah Pantai Kuta pada bulan Desember 2011 dan Februari 2012. Medan kecepatan u dan v dari model hidrodinamika digunakan sebagai input untuk simulasi pergerakan sampah laut terapung. Dari 5 titik sumber di wilayah Jembrana, Tabanan, dan Badung dilepaskan sebanyak 1 partikel di masing-masing titik sumber. Hasil simulasi dengan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,025 m/detik. Dari hasil simulasi tersebut dapat terlihat bahwa keberadaan sampah laut terapung yang berada di wilayah Pantai Kuta, Bali berasal dari ke 5 sumber tersebut. Sampah tersebut membutuhkan waktu 2-8 hari agar bisa mencapai wilayah Pantai Kuta tergantung dari jarak titik sumber ke Pantai Kuta, Bali.

Kata kunci: sampah laut terapung, hidrodinamika simulasi trajektori, Selat Bali

Abstract: Numerical model was used to simulate current in Bali Strait and marine debris movement around Kuta Beach in December 2011 and February 2012. Field velocity (u and v) from hydrodynamic model used as an input for simulation model of marine debris movement. From 5 points source in Jembrana, Tabanan, and Badung were released 1 particle in each points sources. The result shows with average current velocity 0.025 m/s. The marine debris in Kuta Beach, Bali came from those 5 sources. Those debris need 2-8 days in time to reach the Kuta Beach depending on the distance of the point source from Kuta Beach, Bali.

Keywords: marine debris, hydrodynamic, trajectory simulation, Bali Strait

PENDAHULUAN

Sampah laut terapung muncul dari hasil kegiatan manusia dari alam. Pergerakan sampah laut terapung di permukaan sangat dipengaruhi oleh gerakan arus yang ada di lautan. Dampak yang ditimbulkan akibat adanya keberadaan sampah laut, antara lain rusaknya ekosistem lingkungan di lautan, terganggunya habitat makhluk hidup di laut, terganggunya jalur navigasi kapal, dan dapat menyebabkan kerusakan pantai. Salah satu kasus yang sudah muncul akibat keberadaan sampah laut ini adalah adanya tumpukan sampah yang berada di sekitar Pantai Kuta, Selat Bali.

Pantai Kuta adalah pantai yang berada di barat daya Pulau Bali yang menghadap ke perairan Selat Bali. Selat Bali merupakan perairan yang memisahkan antara Pulau Jawa dengan Pulau Bali. Letak geografis Selat Bali berada di $114^{\circ}20'$ - $115^{\circ}10'$ BT dan $8^{\circ}10'$ - $8^{\circ}50'$ LS dengan luas perairan sekitar 2.500 km^2 (Saragih, 2002).

Munculnya sampah di perairan Pantai Kuta terjadi pada bulan Desember sampai dengan Februari. Sampah yang didominasi oleh batang pohon, ranting, dan botol-botol plastik tersebut sangat mengganggu wisatawan yang datang ke Pantai Kuta. Banyak usaha-usaha yang telah dilakukan oleh pemerintah setempat dan warga sekitar Pantai Kuta dalam membersihkan sampah yang ada di Pantai Kuta. Dalam penelitian kali ini mensimulasikan trajektori sampah laut terapung di Perairan Selat Bali, Bali.

Perairan Selat Bali memiliki mulut selat yang sempit di bagian utara dengan lebar ± 2,5 km dan melebar di bagian selatan selat yang menghadap ke arah Samudra Hindia dengan lebar ± 40 km. Kedalaman di Perairan Selat Bali memiliki variasi kedalaman yang cukup besar, pada wilayah utara perairan tersebut memiliki kedalaman rata-rata yaitu 50 m, sedangkan untuk kedalaman di wilayah selatan memiliki kedalaman rata-rata 200 m – 500 m, bahkan ada yang mencapai kedalaman 1000 m. Di bagian tengah dari perairan Selat Bali terdapat gosong dengan kedalaman kurang dari 10 m.

Menurut Putri (2005), tipe pasang surut di perairan Selat Bali adalah pasang surut campuran dengan condong ke arah semidiurnal. Hal tersebut karena perairan di Selat Bali lebih dipengaruhi oleh perairan Samudra Hindia yang tipe pasang surutnya semidiurnal sedangkan dengan perairan Laut Jawa yang cenderung memiliki bertipe diurnal.

Arus yang berada di Selat Bali lebih didominasi oleh arus yang dibangkitkan oleh pasang surut. Hal tersebut berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) pada Mei 2003 di perairan Desa Watudodol, Jawa Timur.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, simulasi hidrodinamika menggunakan model numerik 2 dimensi horizontal dengan daerah kajian meliputi wilayah dari 7,84⁰ LS – 8,82⁰ LS dan 114,35⁰ BT – 115,21⁰ BT. Input data batimetri menggunakan peta perairan Selat Bali yang diterbitkan oleh DISHIDROS TNI-AL. Data angin yang digunakan sebagai pembangkit arus menggunakan data dari *National Center for Environmental Prediction* (NCEP). Simulasi hidrodinamika dilakukan dua kali, yang pertama dilakukan dalam periode tahun 2003 untuk memverifikasi hasil model dengan data lapangan. Simulasi yang kedua dilakukan pada periode Desember 2011-Februari 2012 untuk menghasilkan komponen kecepatan arus yang digunakan sebagai penggerak model lintasan sebaran trajektori. Adapun persamaan pembangun dari model tersebut adalah persamaan Navier-Stokes yang terdiri dari persamaan kontinuitas dan juga persamaan momentum (DHI, 2011).

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + \frac{\partial\eta}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho_0 h} + A_H \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho_0 h} + A_H \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

Dengan:

- h = kedalaman total (m),
- u dan v = kecepatan arus dalam arah x,y (m/detik),
- η = elevasi muka laut (m),

- g = percepatan gravitasi (m/detik²),
- τ_{sx} dan τ_{sy} = komponen gesekan permukaan (kg/m detik²),
- τ_{bx} dan τ_{by} = komponen gesekan dasar (kg/m detik²),
- A_H = viskositas eddy (m²/detik).

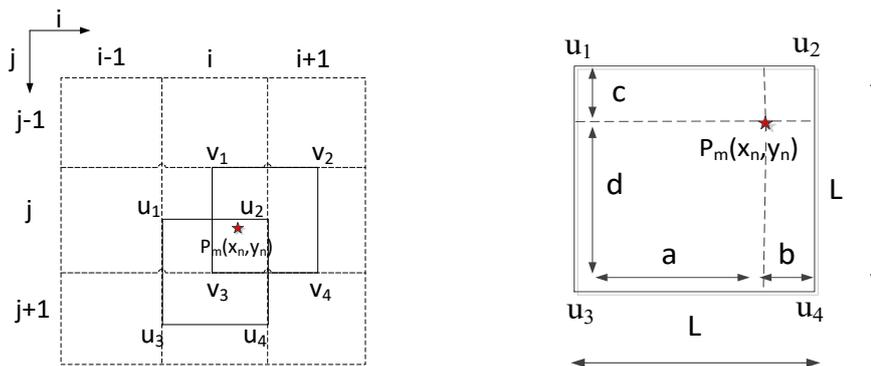
Simulasi sampah terapung yang dianggap sebagai partikel menggunakan model matematik lintasan sebaran trajektori yang digunakan dalam simulasi sebaran trajektori di laut dimana medan kecepatan u dan v dari hasil simulasi hidrodinamika. Partikel yang digunakan dalam model matematik lintasan sebaran trajektori merepresentasikan sampah laut terapung yang diasumsikan pergerakannya mengikuti kondisi oseanografi dilaut tanpa terpengaruh proses kimiawi laut. Model matematik yang digunakan untuk simulasi lintasan trajektori ini diadaptasi dari model matematik lintasan tumpahan minyak yang dikembangkan Suprijo (1995) yang dimodifikasi dengan menghilangkan pengaruh proses kimiawi pada tumpahan minyak, sehingga hanya meninjau aspek pergerakan trajektori yang diakibatkan oleh kondisi fisis laut. Persamaan matematik lintasan yang menggambarkan posisi partikel dalam sistem Lagrange uliskan sebagai berikut:

$$P_m(x_{n+1}, y_{n+1}) = P_m(x_n, y_n) + \{(V + Vacak)dt \tag{4}$$

Dengan:

- $P_m(x_{n+1}, y_{n+1})$ = posisi partikel (x,y) pada saat waktu berikutnya (t=n+1)
- $P_m(x_n, y_n)$ = posisi partikel (x,y) pada saat waktu sekarang (t=n)
- V = kecepatan yang bekerja di partikel (m/detik)
- $Vacak$ = fluktuasi kecepatan (m/detik).

Persamaan 4 memerlukan medan kecepatan u dan v dari hasil hidrodinamika yang menggunakan sistem koordinat Euler, sehingga perlu dilakukan transformasi koordinat agar dapat diterapkan pada sistem koordinat Lagrange.



Gambar 1. (a) Sistem koordinat Euler, (b) Transformasi koordinat pada sistem grid

L pada Gambar 1 merupakan ukuran grid. Berdasarkan transformasi koordinat yang diilustrasikan diatas, medan kecepatan u dan v yang bekerja pada koordinat Lagrange pada suatu partikel P_m dengan posisi (x_n, y_n) dapat dirumuskan sebagai berikut (Suprijo, 1995):

$$U_{part} = \frac{(bdu_{L1} + adu_{L2} + bcu_{L3} + acu_{L4})}{L^2} \tag{5}$$

$$V_{part} = \frac{(bdv_{L1}+adv_{L2}+bcv_{L3}+acv_{L4})}{L^2} \quad (6)$$

dimana hubungan nilai a, b, c, dan d memenuhi hubungan:

$$a + b = c + d = \Delta x = \Delta y = L \quad (7)$$

Simulasi trajektori partikel dibagi menjadi 2 skenario. Skenario 1 dan skenario 2 merupakan simulasi trajektori partikel untuk melihat pola pergerakan sebaran sampah laut terapung di perairan Selat Bali pada awal musim barat dan pertengahan musim barat. Masing-masing skenario tersebut dilakukan pada tanggal 1-8 Desember 2011 dan 1-8 Februari 2012. Ukuran grid yang digunakan $\Delta x = \Delta y = 200$ meter dengan jumlah grid 547x480 grid, langkah waktu yang digunakan $\Delta t = 100$ detik. Medan kecepatan u dan v didapat dari hasil simulasi hidrodinamika. Partikel dilepaskan di 5 titik sumber yang tersebar di wilayah (Gambar 2) antara lain: 1 titik berada di wilayah Badung, 3 titik sumber berada di wilayah Tabanan, dan 1 titik sumber berada di wilayah Jembrana. Simulasi ini dilakukan selama 8 hari merujuk pada hasil Yosafat (2012) yang menyatakan bahwa partikel sampah laut terapung mencapai Pantai Kuta selama 7 hari selama periode bulan Desember hingga Februari.

Dalam simulasi lintasan sebaran trajektori partikel, satu buah partikel diberikan disetiap titik sumber partikel pada saat awal waktu simulasi model. Partikel tersebut akan menggambarkan trajektori pergerakan yang digunakan sebagai representasi sampah laut terapung selama dilakukan simulasi.



Sumber: Google Earth

Gambar 2. Lokasi titik sumber sebaran trajektori partikel ditandai dengan warna merah dan Pantai Kuta ditandai dengan warna kuning

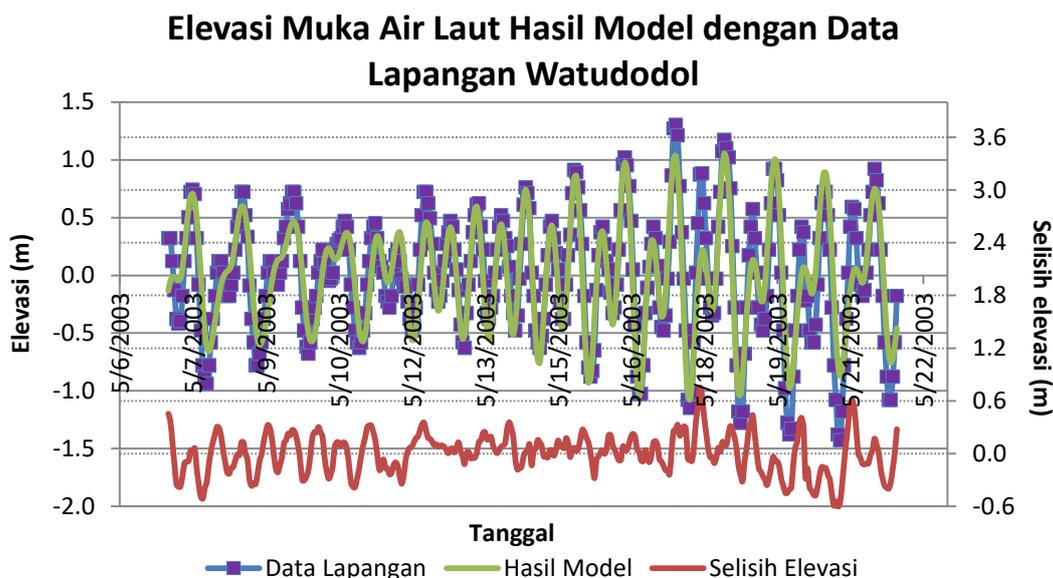
Secara umum, skenario simulasi trajektori partikel yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skenario yang dilakukan pada simulasi trajektori sampah laut terapung

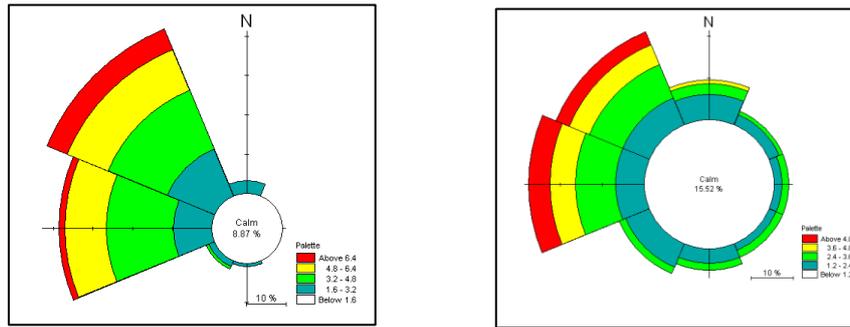
Keterangan	Skenario 1	Skenario 2
Tujuan	Melihat pengaruh awal musim barat	Melihat pengaruh pertengahan musim barat
Δt	100	100
Δx	200	200
Δy	200	200
Jumlah grid	547x480	547x480
Kecepatan u	Hasil hidrodinamika	Hasil hidrodinamika
Kecepatan v	Hasil hidrodinamika	Hasil hidrodinamika
Domain model	Daerah kajian model	Daerah kajian model

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi hidrodinamika yang dilakukan menghasilkan data elevasi muka laut dan komponen kecepatan u dan v . Elevasi pasang surut dari hasil simulasi hidrodinamika diverifikasi dengan data pengamatan pasang surut yang diambil pada selama 15 hari pada periode tanggal 7-22 Mei 2003 di Perairan Desa Watudodol, Banyuwangi yang dilakukan oleh P3GL. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa elevasi pasang surut hasil model dengan data lapangan memiliki pola pasang surut yang sama, yaitu tipe pola pasang surut campuran condong semidiurnal (Gambar 3). Elevasi pasang surut hasil simulasi menunjukkan harga yang lebih kecil dibandingkan dengan data lapangan dengan nilai perbedaan berkisar antara 0,2-0,4 meter.

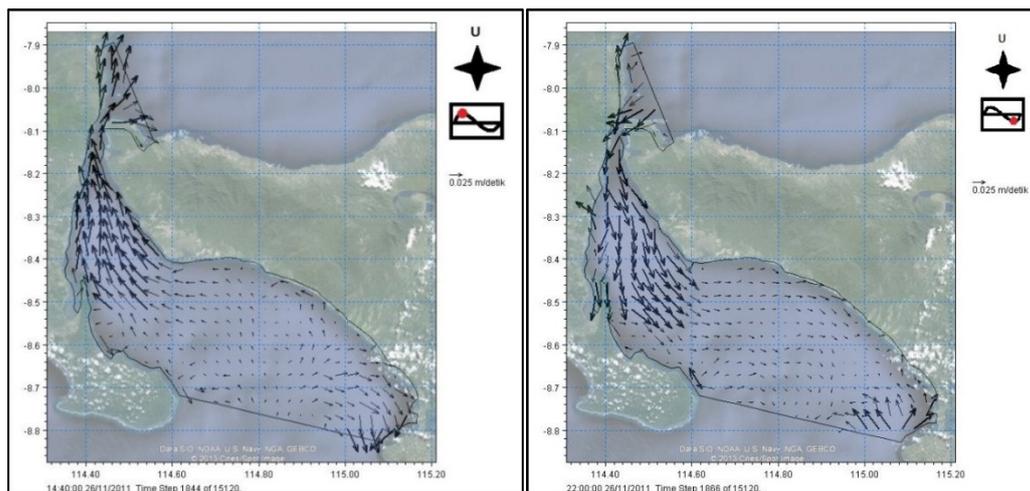


Gambar 3. Hasil verifikasi model dengan data pengukuran lapangan



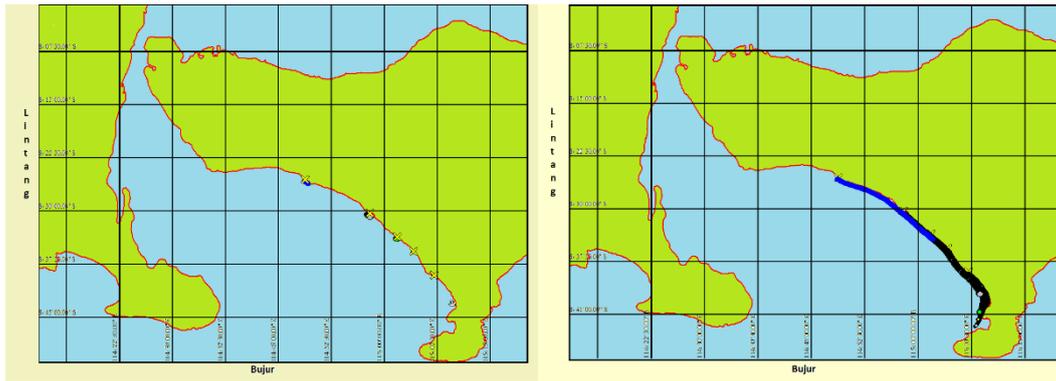
Gambar 4. Mawar angin (a) bulan Desember 2011 dan (b) Bulan Februari 2012

Arah angin dominan pada bulan Desember sampai dengan Februari yaitu angin yang berasal dari barat. Hal tersebut dapat dilihat dari mawar angin pada Gambar 4, sehingga mempengaruhi pola arus yang ada di Perairan Selat Bali. Pola arus tersebut juga sesuai dengan penelitian Wyrki (1961) dan Gordon (2005) yang menyatakan bahwa pada musim barat pada bulan Desember hingga Februari, angin berhembus dari arah barat menuju timur dan menggerakkan arus permukaan laut mengikuti dengan arah angin di wilayah perairan Indonesia.



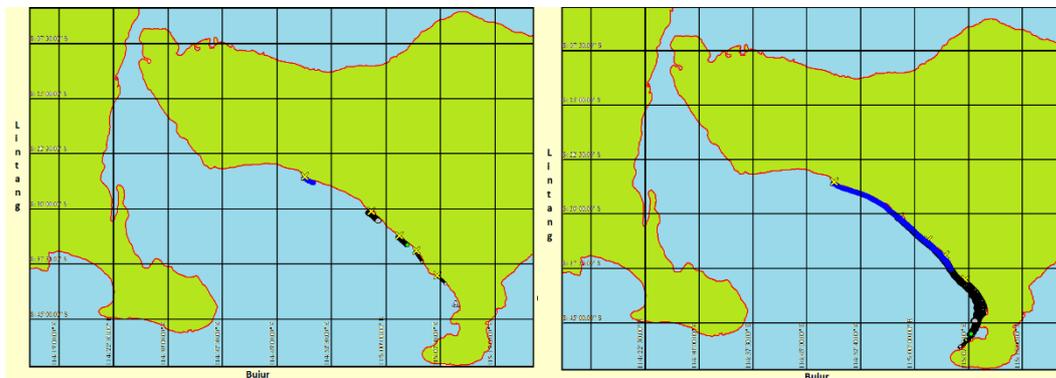
Gambar 5. Pola arus di Selat Bali hasil simulasi hidrodinamika pada kondisi purnama, (a) saat pasang maksimum dan (b) saat surut maksimum

Pola arus di perairan Selat Bali hasil hidrodinamika ditunjukkan pada Gambar 5. Saat kondisi purnama pada surut menuju pasang arus bergerak dari arah utara ke arah selatan dengan kecepatan rata-rata di bagian celah sempit selat sebesar 0,44 m/detik. Pada saat pasang maksimum arus mulai berbalik, bergerak dari selatan menuju utara dengan kecepatan rata-rata di bagian celah sempit selat sebesar 0,42 m/detik. Saat pasang menuju surut, pola arus kembali berbalik bergerak dari arah utara menuju selatan perairan dengan kecepatan rata-rata di bagian celah sempit selat sebesar 0,25 m/detik. Pada saat surut maksimum arus masih bergerak sama saat pasang menuju surut, yaitu bergerak dari utara ke selatan dengan kecepatan rata-rata di bagian celah sempit selat sebesar 0,43 m/detik.



Gambar 6. Hasil simulasi trajektori partikel skenario 1 (a) tanggal 1 Desember 2011 dan (b) 8 Desember 2011

Hasil simulasi trajektori partikel Skenario 1 yang dilakukan tanggal 1-8 Desember 2011 ditunjukkan pada Gambar 6. Terlihat pergerakan trajektori dari 5 titik sumber bergerak sejauh 2-3 km per hari. Untuk partikel yang dilepaskan dari wilayah Jembrana terlihat tidak sampai ke wilayah Pantai Kuta setelah simulasi selama 8 hari. Untuk partikel yang dilepaskan dari wilayah Tabanan membutuhkan waktu 5-8 hari agar partikel tersebut sampai ke wilayah Pantai Kuta. Untuk sumber yang berada lebih dekat dengan wilayah Pantai Kuta membutuhkan waktu yang lebih sedikit dibanding sumber di wilayah Tabanan yang lebih jauh. Untuk titik sumber partikel yang berada di wilayah Badung hanya membutuhkan waktu 4 hari agar sampai ke wilayah Pantai Kuta, Bali.



Gambar 7. Hasil simulasi trajektori partikel skenario 2, (a) tanggal 1 Februari 2012 dan (b) 8 Februari 2012

Hasil simulasi trajektori partikel Skenario 2 yang dilakukan tanggal 1-8 Februari 2012 ditunjukkan pada Gambar 7. Terlihat pada gambar, pergerakan trajektori dari 5 titik sumber bergerak sejauh 5-6 km per hari. Jarak tersebut 3 kali lebih jauh dibanding simulasi yang dilakukan pada skenario 1. Partikel yang bersumber dari wilayah Jembrana tidak sampai wilayah Pantai Kuta setelah simulasi yang dilakukan selama 8 hari, namun jarak yang dicapai oleh transport sampah laut terapung lebih jauh jika dibandingkan dengan hasil simulasi pada skenario 1. Untuk partikel yang bersumber dari wilayah Tabanan membutuhkan waktu 4-7 hari untuk mencapai wilayah Pantai Kuta, tergantung dari jarak titik sumber terhadap Pantai Kuta. Partikel yang bersumber dari wilayah Badung hanya membutuhkan waktu 2 hari untuk mencapai wilayah Pantai Kuta, Bali.

Berdasarkan hasil dari dua skenario tersebut dapat dilihat perbedaan kecepatan transport sampah laut terapung dari titik sumber menuju titik akhir yaitu Pantai Kuta. Perbedaan kecepatan transport tersebut disebabkan oleh kekuatan angin yang membangkitkan arus permukaan laut dimana variasi kecepatan arus permukaan pada bulan Desember dan Februari masing-masing 0.01 m/detik dan 0.025 m/detik. Pada pertengahan bulan Februari, arah angin dominan berasal dari arah barat menuju timur sesuai dengan gambar mawar angin pada Gambar 4. Hal tersebut menyebabkan angin yang membangkitkan arus permukaan menuju arah timur lebih besar sehingga dapat menggerakkan partikel lebih cepat dibandingkan angin pada saat bulan Desember. Selain itu juga variasi waktu tempuh trajektori dari masing-masing titik sumber disebabkan dari jarak titik sumber yang berbeda-beda dengan titik pengamatan akhir yang berada di Pantai Kuta, Bali.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yosafat (2012) dengan metode yang berbeda menunjukkan hasil yang sama. Simulasi pada bulan Desember dengan titik sumber yang sama membutuhkan waktu 2-7 hari, sedangkan untuk simulasi pada bulan Februari membutuhkan waktu 1-7 hari agar bisa mencapai wilayah Pantai Kuta, Bali.

KESIMPULAN

Kesimpulan hasil penelitian ini adalah berdasarkan hasil verifikasi elevasi pasang surut hasil simulasi model dengan data lapangan menunjukkan kesesuaian pola maupun besarnya dengan nilai koreksi RMSE yang didapat yaitu 0,225 m, sementara verifikasi medan kecepatan u dan medan kecepatan v menunjukkan sebesar 0,185 m/detik dan 0,347 m/detik. Model tersebut dapat digunakan untuk merepresentasikan kondisi perairan di wilayah Selat Bali.

Variasi waktu dalam musim barat mempengaruhi kecepatan pergerakan trajektori partikel dengan kisaran 0,01 m/detik sampai 0,025 m/detik. Pada awal musim barat yaitu pada bulan Desember, pergerakan trajektori partikel yang berasal dari wilayah Jembrana, Tabanan, dan Badung membutuhkan waktu selama kira-kira 4-8 hari agar mencapai wilayah Pantai Kuta. Pada pertengahan musim barat yaitu pada awal bulan Februari, pergerakan trajektori hanya membutuhkan waktu kira-kira selama 2-7 hari agar sampai ke Pantai Kuta, Bali. Variasi jarak titik sumber dengan titik akhir mempengaruhi waktu tempuh pergerakan trajektori agar sampai ke Pantai Kuta, Bali.

DAFTAR PUSTAKA

- DHI., 2011., *MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM*, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation, MIKE, DHI Software, Denmark.
- Gordon, A. L., 2005., *Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow*. Oceanography. 18(4), 14-27.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL)., 2003., *Laporan Penyelidikan Aspek Geologi dan Geofisika Selat Bali dan Sekitarnya*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.
- Putri, W.D., 2005, *Studi Dinamika Pasang Surut di Selat Bali*, Tugas Akhir, Program Studi Oseanografi, ITB, Bandung.
- Saragih, D.A., 2002., *Studi Karakteristik Massa Air di Perairan Selat Bali Pada Bulan Agustus 2000*, Skripsi. Program Studi Ilmu Kelautan, IPB, Bogor.

- Suprijo, T., 1995., *Studi Penyebaran Tumpahan Minyak di Selat Makassar*, Tugas Akhir. Jurusan Geofisika dan Meteorologi, ITB, Bandung.
- Wyrski, K., 1961., *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters*. Scripps Institution of Oceanography, Naga Report Volume 2. The University of California, La Jolla, California.
- Yosafat, E.F., 2012., *Pergerakan Sampah Lautan Dengan Pendekatan Model Trajektori Partikel Di Perairan Selat Bali*, Tesis. Program Studi Sains Kebumihan, ITB, Bandung.
- Google Earth (Diakses pada tanggal 28 Januari 2013 dan 14 Februari 2013)