

Pemodelan Pola Arus Pada Musim Barat Di Perairan Selat Sunda Menggunakan Pendekatan Komputasi Dinamika Fluida (Studi Kasus : 11 – 17 Januari 2023)

Tsa Tsa Aisyha Yuditha Azrrue^a, Yoga Satria Putra^a, Randy Ardianto^b

^aProdi Geofisika , FMIPA Universitas Tanjungpura, ^bStasiun Meteorologi Maritim Pontianak

*Email : tsa.azrrue@gmail.com

Abstrak

Perairan Selat Sunda terletak di antara Pulau Jawa dan Samudera Hindia yang memiliki peran penting dalam sirkulasi massa air di Indonesia dengan kondisi fisik yang dinamis sehingga berpengaruh terhadap pembentukan pola arus permukaan yang juga tergolong dalam jalur pelayaran laut internasional terpadat di Indonesia serta jalur dari *Indonesian Throughflow* (ITF). Metode pada penelitian adalah pemodelan menggunakan pendekatan komputasi dinamika fluida yaitu *software* DELFT3D untuk menghasilkan gambaran pola arus permukaan laut. Data yang digunakan yaitu data pasang surut (BMKG), batimetri (GEBCO), angin (ECMWF), komponen pasut (TPXO 08). Simulasi dilakukan selama tujuh hari mewakili musim barat (11 – 17 Januari 2023). Validasi dilakukan dengan berdasarkan data HF Radar BMKG dan data pasang surut AWS BMKG. Hasil yang didapatkan yaitu pada skala harian arus dominan bergerak dari Laut Jawa menuju Samudera Hindia. Pada visualisasi akumulasi selama tujuh hari menggunakan *wind rose* dan *current rose* arus yang bergerak tidak mengikuti pola pergerakan angin. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya. Rata-rata kecepatan arus dominan pada periode musim barat yaitu berkisar 0,5 hingga 0,8 m/s dengan kecepatan maksimum hingga 1 m/s yang berada pada bagian tengah selat. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan berbagai aktivitas maritim dan pengguna jalur pelayaran Selat Sunda agar mempersiapkan keamanan kapal ketika melewati bagian tengah selat dikarenakan arus kuat berada di bagian tengah selat, serta memperhatikan pola pasang surut dikarenakan Selat Sunda memiliki topografi dangkal sehingga menimbulkan perbedaan tekanan yang dapat menimbulkan arus yang didominasi oleh pasang surut.

Kata Kunci : *Selat Sunda, Arus, Musim Barat, DELFT3D*

1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sangat istimewa dan memiliki nilai strategis di sektor perairan. Dengan luas perairan sekitar 5,8 juta km² atau dengan kata lain memuat 1,3% dari luas perairan dunia menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang menjadi alur pelayaran internasional [1]. Selat Sunda merupakan salah satu kawasan perairan yang tergolong dalam jalur pelayaran laut internasional terpadat di Indonesia yaitu Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) dan juga merupakan jalur dari *Indonesian Throughflow* (ITF) [2]. Hal ini menjadikan Selat Sunda menjadi perairan yang cukup penting dalam berbagai sektor maritim seperti transportasi, perikanan, dan perdagangan. Selat Sunda terletak diantara Pulau Jawa dan Samudera Hindia yang merupakan salah satu perairan yang cukup penting dalam sirkulasi massa air di Indonesia dengan kondisi fisik yang dinamis. Hal ini berpengaruh terhadap pola arus permukaan yang terbentuk [2]. Informasi mengenai pola arus permukaan laut dapat digunakan sebagai acuan dalam mendukung berbagai aktifitas

maritim yang terjadi pada jalur pelayaran Selat Sunda.

Untuk mengetahui pola pergerakan arus, diperlukan pengamatan dalam waktu yang panjang khususnya untuk berbagai musim dikarenakan pergerakan arus di Indonesia secara umum dipengaruhi oleh angin musim dan pasang surut [3]. Terkhusus pada perairan Selat Sunda karena letak geografisnya yang berada pada sistem angin musim sehingga menyebabkan kondisi oseanografi di perairan ini dipengaruhi oleh sistem angin musim. Salah satu alternatif untuk mengkaji terkait pola arus adalah dengan menggunakan pendekatan komputasi dinamika fluida atau lebih tepatnya pemodelan hidrodinamika yaitu dengan *software* DELFT3D. DELFT3D merupakan salah satu perangkat lunak komputasi dinamika fluida yang dirancang terkhusus untuk memodelkan aliran air, transport sedimen, dan dinamika morfologis diperairan seperti sungai, kanal, dan pesisir. Meskipun komputasi dinamika fluida mencakup berbagai aplikasi, DELFT3D adalah bagian dari komputasi dinamika fluida yang secara khusus berfokus pada simulasi perairan. Melalui



pemodelan dan simulasi hidrodinamika menggunakan aplikasi yang tepat, pola pergerakan arus permukaan laut dapat dianalisis secara spasial dan temporal [4].

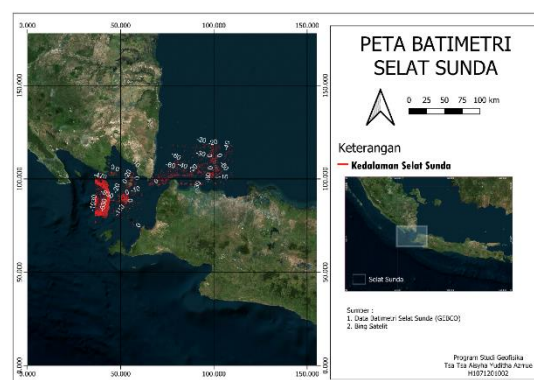
Penelitian mengenai pemodelan pola arus pada musim barat di Selat Sunda belum banyak dilakukan. Namun terdapat beberapa penelitian yang sejalan, diantaranya adalah penelitian pola arus yang dilakukan [5]. Penelitian tersebut berisi penelitian mengenai potensi energi arus laut di perairan Selat Sunda. Kemudian [6] telah mengkaji pola arus musim timur di perairan utara Selat Sunda. Penelitian [2] mengkaji pengaruh angin monsoon timur terhadap arus permukaan berdasarkan data HF Radar di perairan Selat Sunda. [7] juga melakukan penelitian mengenai pola sirkulasi dan variabilitas arus di Perairan Selat Sunda. Beberapa pemodelan menggunakan DELFT3D sudah dilakukan, satu diantara adalah penelitian [1]. Penelitian tersebut melakukan pemodelan pola arus pada tiga kondisi musim berbeda sebagai jalur pelayaran perairan Teluk Lampung menggunakan *software* DELFT3D.

Berdasarkan permasalahan dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji lebih lanjut terkait pola arus pada musim barat di perairan Selat Sunda menggunakan pendekatan komputasi dinamika fluida yaitu dengan menggunakan *software* DELFT3D. Penelitian dengan pendekatan model hidrodinamika DELFT3D ini diharapkan dapat memberikan gambaran detail terkait pola dan karakteristik arus pada perairan Selat Sunda pada musim barat sehingga dapat menjadi acuan serta manfaat dalam mendukung berbagai aktifitas maritim mengingat perairan ini merupakan salah satu jalur pelayaran internasional terpadat di Indonesia dan merupakan jalur dari *Indonesian Throughflow* (ITF).

2. Metodologi

Studi kasus pada penelitian yaitu Selat Sunda. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode numerik yaitu komputasi dinamika fluida dengan *software* DELFT3D. DELFT3D merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk simulasi aliran air dan proses lingkungan lainnya. *Software* ini memiliki kelebihan dalam kustomisasi model yang dapat memudahkan pengguna dalam menyesuaikan model yang sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek personal dan memberikan fleksibilitas dalam simulasi. Serta *user-friendly* yang memudahkan pengguna untuk membuat model dan menganalisis data. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer tersebut diperoleh dari

BMKG berupa data arus hasil pengamatan *High Frequency* (HF) Radar yang dipasang di perairan Selat Sunda dan data pasang surut yang diperoleh dari AWS BMKG. Data sekunder yaitu data batimetri yang diperoleh *The General Bathymetric Chart of The Oceans* (GEBCO), data angin dan tekanan permukaan dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) ERA 5 serta data komponen pasang surut yang diperoleh dari *Tide Model Driver* (TMD) TPXO 08. Data yang digunakan yaitu arus, komponen pasut, angin dan tekanan permukaan pada tanggal 11 - 17 Januari 2023 mewakili periode musim barat di perairan Selat Sunda.



Gambar 1 Peta Batimetri Lokasi Penelitian

Prosedur Penelitian Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan studi literatur dengan mempelajari hal-hal yang berguna untuk menunjang penelitian yang dilakukan seperti mencari referensi yang berkaitan dengan penelitian pola arus, serta teknik dan pemodelan komputasi dinamika fluida terkhusus pemodelan menggunakan *software* DELFT3D. Selain itu, pencarian referensi juga meliputi referensi dari analisis pola atau karakteristik arus di perairan Selat Sunda.

Pengumpulan dan Pengolahan Data

Proses pengumpulan dan pengolahan data dilakukan setelah melakukan tahap persiapan. Pada proses ini dilakukan beberapa tahapan untuk mendapatkan hasil data yang akan digunakan dalam pembuatan model untuk di simulasikan. Adapun langkah-langkah pada pengolahan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pengolahan data arus. Data arus yang telah di dapatkan dari hasil rekaman HF Radar milik BMKG yang berada di perairan Selat Sunda dan data pasang surut dari AWS BMKG digunakan untuk melakukan validasi

- terhadap hasil model dengan resolusi 500 m.
- Pengolahan data komponen pasang surut. Data ini diolah dari *Tide Model Driver* (TMD) dengan data pasang surut global TPXO 08 (Egbert and Erefofa, 2022) dengan resolusi 1/6 derajat sehingga didapatkan komponen harmonik pasang surut berupa M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1.
 - Pengolahan data batimetri. Data batimetri yang telah didapatkan di laman GEBCO akan dilakukan digitasi peta batimetri untuk mendapatkan file ASCII dengan format xyz yang digunakan sebagai data masukkan dan penentuan syarat batas model yang akan disimulasikan. Data yang diambil yaitu data dengan resolusi 500 m.
 - Pengolahan data angin dan tekanan permukaan. Data angin dan tekanan permukaan diolah dengan *software* Phytion dengan memasukkan data dari ECMWF ERA 5 dengan resolusi 0.25 derajat.

Pembuatan Model

Secara umum pembuatan model untuk simulasi dilakukan dengan menggunakan DELFT3D-FLOW yaitu dengan melakukan digitasi *land boundary*, pembuatan *grid*, dan pemasukan data kedalaman. Pada pemodelan ini bagian yang digunakan merupakan DelftD-RGFGRID (memodifikasi *grid*) dan Delft3D-QUICKIN (*input* sampel data batimetri). Dalam pemodelan ini, simulasi dijalankan selama 7 hari dari tanggal 11 Januari - 17 Januari 2023 mewakili musim barat di Perairan Selat Sunda.

Verifikasi Model

Verifikasi data dapat dilakukan dengan menghitung kesalahan relatif yang menunjukkan tingkat kesalahan suatu data dalam persentasi nilai. Penelitian [8] menerangkan bahwa hasil pemodelan dapat dilakukan dengan *Mean Absolute Error* (MAE). MAE merupakan rata-rata kesalahan tanpa memperhitungkan arah kesalahannya. MAE cocok untuk menggambarkan kesalahan yang terdistribusi secara merata. Perhitungan untuk mencari nilai tersebut adalah sebagai berikut :

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n |y_i - \bar{y}_i|$$

Dengan n, y_i, \bar{y}_i berturut-turut adalah jumlah data, data lapangan dan data hasil model. Data validasi yang digunakan yaitu data arus yang diperoleh dari data pengamatan HF Radar BMKG.

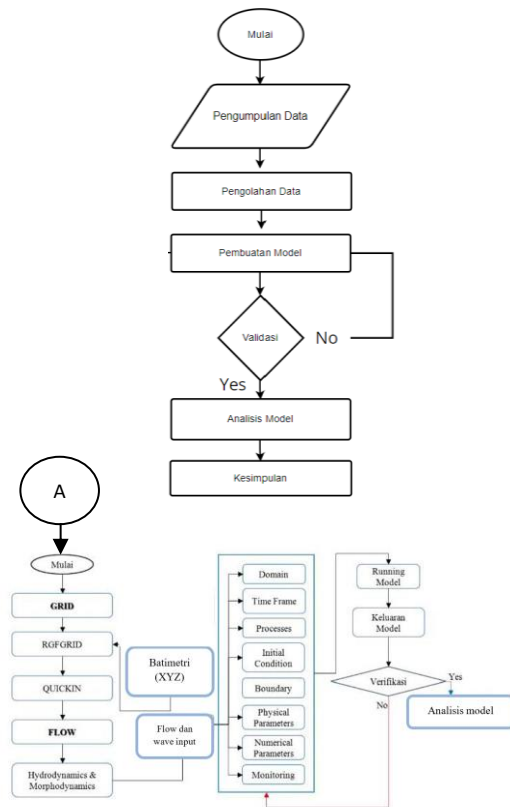
Tabel 1 Interpretasi Nilai MAE

MAE	Tingkat Kesalahan
0,00 – 0,299	Kecil
0.30 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,899	Besar
>0,9	Sangat Besar

Menurut [9], [10] perhitungan klasifikasi nilai MAE sangat baik jika bernilai 0 – 0,5; baik jika bernilai 0,5 – 0,6; cukup jika bernilai 0,6 – 0,7 dan tidak baik jika bernilai > 0,7.

Diagram Alir Penelitian

Adapun kerangka kerja atau *flowchart* pada penelitian ini digambarkan dalam skema dibawah ini :



Gambar 1 Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

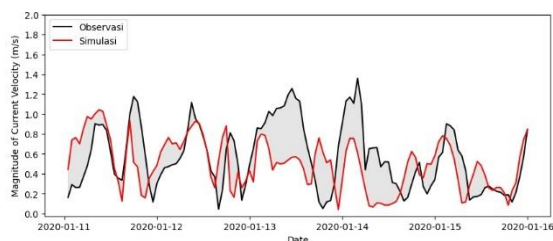
Studi Validasi Perbandingan Model dan Observasi

Pada penelitian ini, validasi hasil pemodelan dilakukan dengan membandingkan nilai kecepatan arus permukaan dan pasang surut pada pemodelan yang dilakukan dengan data pengamatan lapangan kecepatan arus

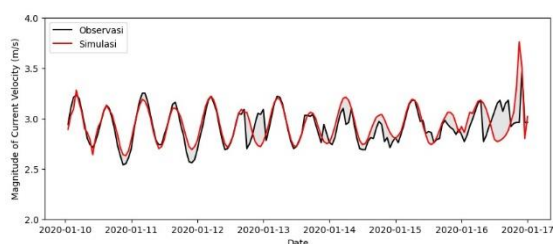
permukaan menggunakan alat HF Radar BMKG dan data pasang surut AWS BMKG pada posisi dan waktu yang sama yaitu pada tiga titik observasi berbeda, yaitu berturut-turut pada *longitude* 105,86; 105,87; dan 105,88 serta *latitude* -5,89; -5,92; 5,90. Proses validasi ini dilakukan dengan memvalidasi hasil model arus dan pasang surut dengan perhitungan *Mean Absoute Error* (MAE). Nilai MAE adalah rata-rata besar kesalahan tanpa memperhitungkan arah kesalahannya. MAE cocok digunakan untuk menggambarkan kesalahan distribusi secara merata [8]. Validasi dilakukan untuk melihat nilai eror yang paling kecil dan paling efektif untuk digunakan pada pemodelan ini sesuai pada rentang nilai pada Tabel 1 sebelumnya.

Tabel 2 Nilai MAE Januari 2023

Posisi (LON;LAT)	Nilai MAE
(105,85; -5,89)	0,28
(105,88; -5,90)	0,32
(105,87; -5,92)	0,30



Gambar 2 Perbandingan grafik kecepatan arus model dan observasi

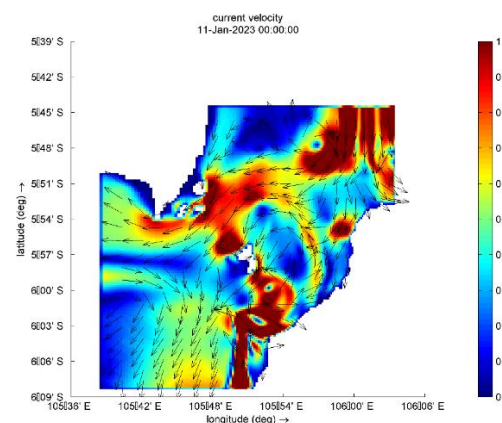


Gambar 3 Perbandingan pasang surut model dan observasi

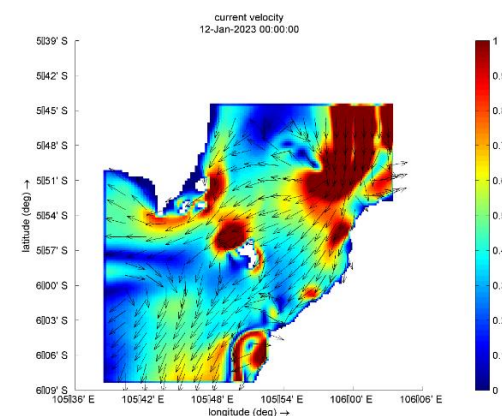
Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan kecepatan arus dan pasang surut model dan observasi pada musim barat. Terlihat bahwa grafik tersebut menunjukkan pola yang sama antara model dan juga observasi yang dapat disimpulkan bahwa nilai kecepatan arus dan pasang surut antara model dan observasi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda serta

memiliki pola yang sama. Pada perhitungan validasi pada Tabel 2 didapatkan bahwa nilai *Mean Absolute Error* lebih dominan yang mendekati nilai 0. Berdasarkan nilai MAE tersebut dapat disimpulkan bahwa tingkat kesalahan pada data kecepatan arus permukaan dan pasang surut pada pemodelan ini termasuk dalam kategori kecil menurut klasifikasi [8], sangat baik menurut [9], [10]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa algoritma pemodelan berjalan dengan baik dan data dapat diterima sehingga bisa dilanjutkan kedalam tahap interpretasi data.

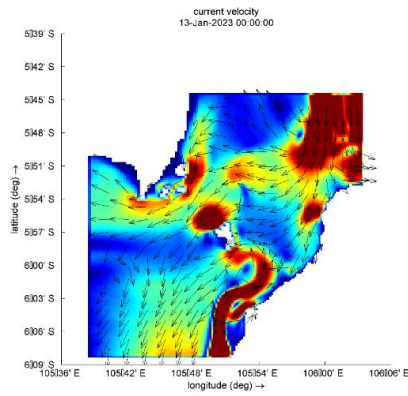
Analisis Fluktuasi Harian Arus Di Perairan Selat Sunda Pada Musim Barat



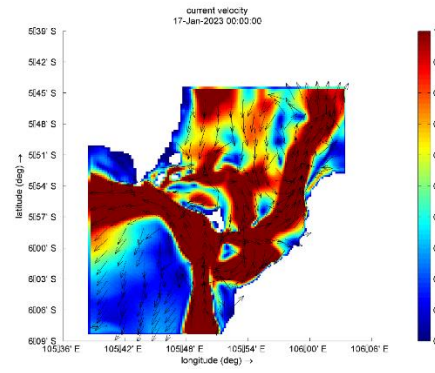
Gambar 4 Visualisasi arus 11 Januari 2023 00.00 UTC



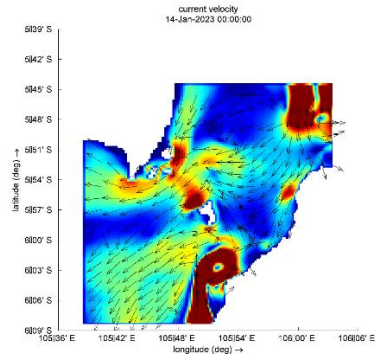
Gambar 5 Visualisasi arus 12 Januari 2023 00.00 UTC



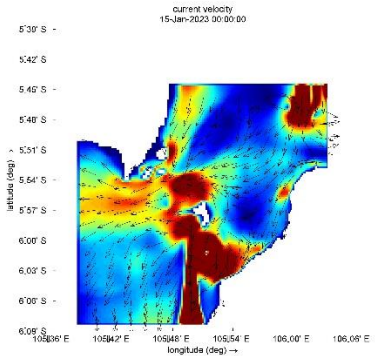
Gambar 6 Visualisasi arus 13 Januari 2023 00.00 UTC



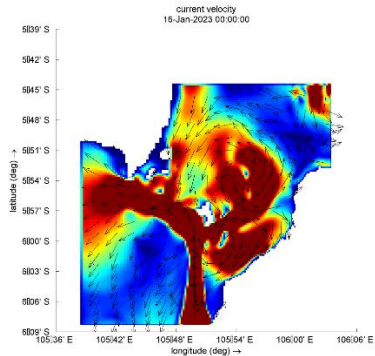
Gambar 10 Visualisasi arus 17 Januari 2023 00.00 UTC



Gambar 7 Visualisasi arus 14 Januari 2023 00.00 UTC



Gambar 8 Visualisasi arus 15 Januari 2023 00.00 UTC



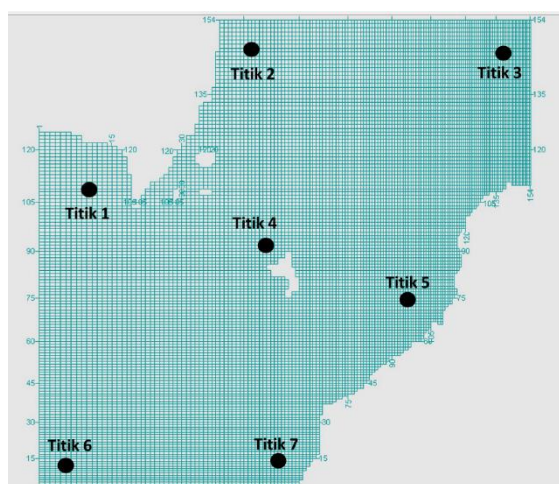
Gambar 9 Visualisasi arus 16 Januari 2023 00.00 UTC

Dari hasil pemodelan arus laut permukaan seperti Gambar 4 hingga Gambar 10 menunjukkan visualisasi fluktuasi harian pola arus pada musim barat pada waktu 00.00 UTC selama 7 hari dari tanggal 11 Januari hingga 17 Januari 2023. Pada 11 hingga 17 Januari 2023 0.00 UTC arus dominan bergerak dari arah timur laut menuju barat daya dan barat laut yaitu dari Laut Jawa (LJ) menuju Samudra Hindia (SH). Namun Pada tanggal 15 Januari 2023 di bagian dalam selat, vektor arus terlihat mengalami divergensi atau pembalikan arah arus kearah sisi utara dan selatan dari tengah selat. Hal ini terjadi akibat dari konfigurasi adanya pulau-pulau yang berada didalam selat seperti penelitian sebelumnya [7]. Kecepatan arus pada musim barat berkisar 0,4 hingga 1 m/s. Pada 00.00 UTC arus kuat hingga 1 m/s dominan berada di sekitar timur daratan pulau Jawa yaitu Cilegon dan mercusuar Pulau Tempurung serta pada bagian timur selat mendekati daratan Anjer-Kidu dan sekitaran bagian selatan pulau Sangiang yang berada ditengah selat.

Pada hasil visualisasi fluktuasi harian pada musim barat terlihat bahwa arus pada musim ini dominan bergerak dari timur laut menuju barat daya dan barat laut, atau dari LJ menuju SH. Hal ini sesuai dengan penelitian [11] dan [12] bahwa di dalam Selat Sunda terjadi pertukaran massa air antara LJ dan SH dimana masa air bergerak menuju SH akibat tingginya muka air LJ dibandingkan SH. Kecepatan arus pada musim ini terlihat dari arus kuat yang mulai masuk dari LJ memasuki bagian dalam selat. Hal ini dikarenakan bagian utara selat yaitu LJ memiliki kedalaman laut dangkal kurang dari 50 m dibandingkan selatan selat atau yang

berhubungan dengan SH sehingga arus lebih kuat berasal dari LJ [11]. Hal ini juga mungkin disebabkan oleh respon aliran terhadap penyempitan selat dan akibat adanya variasi tinggi muka laut yang menimbulkan adanya kemiringan permukaan laut. Karena adanya kemiringan ini, maka terapat gradien tekanan horizontal, sehingga massa air cenderung mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah dan diimbangi oleh gaya coriolis [7]. Selat Sunda memiliki topografi yang khas dengan perairan yang menyempit berbagai bagian dan terdapat pula pulau-pulau dalam selat. Hal ini menyebabkan perubahan kecepatan dan arah arus, terutama saat arus memasuki bagian dalam selat dan melewati bagian yang sempit dan terbelah oleh pulau-pulau. Pengecilan saluran air inilah yang dapat meningkatkan kuatnya kecepatan arus.

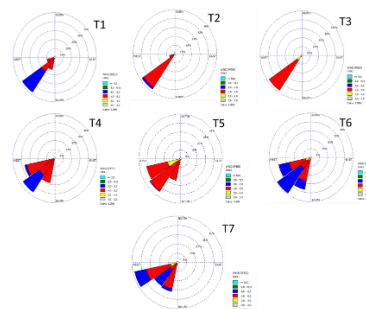
Akumulasi Harian Arah Angin dan Arus Dominan Pada Musim Barat



Gambar 11 Titik yang mewakili arah angin dan arus pada *windrose* dan *current rose*

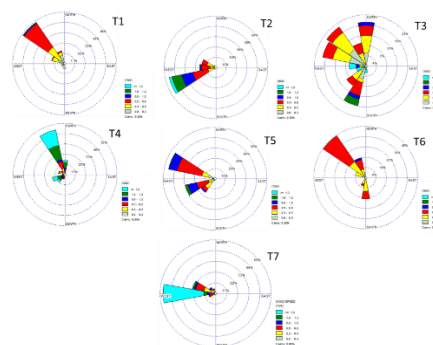
Di perairan Indonesia pola pergerakan arus sangat dipengaruhi oleh angin musim [13]. Saat angin bertiup, terjadi transformasi energi dari angin ke permukaan laut. Gesekan antara angin dan permukaan laut menjadi faktor pendorong terjadinya pergerakan arus secara horizontal atau disebut dengan arus permukaan. Proses transfer energi yang terjadi di atas permukaan laut sangat kompleks. Sebagian besar digunakan sebagai proses penghasilan turbulensi dan sebagian dikonversi menjadi arus. Semakin kuat angin bertiup, semakin besar friksi permukaan

yang mendorong arus di bawahnya. Pergerakan angin yang mendorong arus laut ini disebut *wind stress* [14].



Gambar 12 Arah dan kecepatan angin dominan pada musim barat (10 – 17 Januari 2023)

Gambar 12 menunjukkan sebaran arah dan kecepatan angin di perairan Selat Sunda pada musim barat di tujuh titik pada tanggal 11 – 17 Januari 2023. Arah angin dominan adalah bertiup dari barat daya dengan frekuensi kemunculan mencapai 45% dengan kecepatan angin dominan berkisar 4-8 m/s. Pada musim ini menampilkan bahwa angin bertiup dari Samudra Hindia menuju Laut Jawa, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menerangkan bahwa pada bulan Januari angin di Selat Sunda bertiup dari Samudra Hindia menuju Laut Jawa [7], [15].



Gambar 13 Arah dan kecepatan arus dominan pada musim barat (11 – 17 Januari 2023)

Gambar 13 menampilkan *current rose* musim barat pada tanggal 11 – 17 Januari 2023. Terlihat bahwa arah arus dominan di perairan Selat Sunda adalah ke arah barat laut dan barat daya dengan frekuensi kejadian mencapai 55% dan 60%. Kecepatan arus dominan adalah 0,5-0,8 m/s dengan frekuensi kejadian mencapai 45%. Pada musim ini arus mengalir menuju Samudra Hindia yang mana sesuai pada penelitian sebelumnya yang menerangkan bahwa arus di

Selat Sunda bergerak menuju ke Samudra Hindia [11], [16]. Namun pada musim ini arus tidak dipengaruhi oleh angin jika dilihat dari pola angin hasil analisis model. Hal ini sesuai dengan penelitian [5] yang menyebutkan bahwa berdasarkan hasil model yang telah dilakukan menggunakan *software* MIKE 21 pola arus di perairan Selat Sunda diasumsikan tidak memiliki pengaruh angin maupun gesekan dasar. Namun bertolak belakang dengan penelitian [17] yang menerangkan bahwa Selat Sunda memiliki letak geografis yang berada pada sistem angin musim sehingga menyebabkan kondisi oseanografi di perairan ini dipengaruhi oleh sistem angin musim. Akan Tetapi karakteristik perairan Selat Sunda yang sempit dan relatif dangkal di wilayah dekat Laut Jawa sehingga mengakibatkan tingginya pengaruh pasang surut yang menimbulkan perbedaan tekanan dan dapat menimbulkan arus [18]. Oleh karena itu, pola arus di Selat Sunda tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh sistem angin musim tetapi juga dipengaruhi oleh pasang surut.

4. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis arah angin dan arus dominan model yang telah dibuat, terlihat bahwa arus di Selat Sunda untuk periode 11 – 17 Januari 2023 mewakili musim barat tidak dipengaruhi oleh pola angin. Arus pada musim ini bergerak dengan kecepatan rata-rata 0,3-0,8 m/s dengan kecepatan maksimum hingga 2 m/s yang berada pada bagian tengah selat atau di sekitar pulau-pulau di dalam selat. Berdasarkan hasil penelitian ini diharapkan pengguna jalur pelayaran Selat Sunda mempersiapkan keamanan saat memasuki wilayah dalam selat dikarenakan arus kuat yang berada pada celah sempit pada bagian tengah selat dan melihat pola pasang surut sebelum melakukan berbagai aktivitas maritim di Selat Sunda.

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini dan untuk penelitian lanjutan berdasarkan hasil yang telah diperoleh yaitu perlu dilakukan penambahan analisis arus perkedalaman dan analisis pasang surut untuk memaksimalkan hasil analisis dalam penelitian sehingga dapat secara maksimal memberikan acuan bagi berbagai aktivitas maritim dan pengguna jalur pelayaran Selat Sunda. serta diperlukan

pembelajaran lebih lanjut mengenai model DELFT3D sehingga proses pemodelan dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Budiwicaksono, P. Subardjo, and F. Novico, "Pemodelan Pola Arus Pada Tiga Kondisi Musim Berbeda Sebagai Jalur Pelayaran Perairan Teluk Lampung Menggunakan Software Delft3d," *J. Oceanogr. Univ. Diponegoro*, vol. 2, no. 3, pp. 280–292, 2013, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/4571>
- [2] C. M. Serodja, A. Ismanto, A. R. Hakim, and A. Ramdhani, "Pengaruh Angin Monsoon Timur Terhadap Arus Permukaan Berdasarkan Data HF Radar di Perairan Selat Sunda," *Indones. J. Oceanogr. (IJOCE)*, *Univ. Diponegoro*, vol. 04, no. 2, pp. 11–18, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce>
- [3] A. Anwar Saputro, Z. Hidayah, and H. Wirayuhanto, "Pemodelan Dinamika Arus Permukaan Laut Alur Pelayaran Barat Surabaya," *J. Kelaut. Indones. J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 88–100, 2023, doi: 10.21107/jk.v16i1.18269.
- [4] N. L. Ma'arif and Z. Hidayah, "Kajian Pola Arus Permukaan Dan Sebaran Konsentrasi Total Suspended Solid (Tss) Di Pesisir Pantai Kenjeran Surabaya," *J. Ilm. Kelaut. dan Perikan.*, vol. 1, no. 3, pp. 417–426, 2020, doi: 10.21107/juvenil.v1i3.8842.
- [5] N. Nuriyati *et al.*, "Potensi Energi Arus Laut Di Perairan Selat Sunda," *Indones. J. Oceanogr.*, vol. 1, no. 1, pp. 44–51, 2019, doi: 10.14710/ijoce.v1i1.6242.
- [6] K. B. Widhi, E. Indrayanti, and I. B. Prasetyawan, "KAJIAN POLA ARUS DI PERAIRAN TELUK LAMPUNG MENGGUNAKAN PENDEKATAN MODEL HIDRODINAMIKA 2-DIMENSI Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas," *Ilmu Kelautan, Univ. Diponegoro*, vol. 1, pp. 169–177, 2012.
- [7] H. Rahmawitri, A. Saleh Atmadipoera, and S. Suryo Sukoraharjo, "Pola Sirkulasi Dan Variabilitas Arus Di Perairan Selat Sunda," *J. Kelaut. Nasional, Inst. Pertan.*

- Bogor*, vol. 11, no. 3, p. 141, 2016, doi: 10.15578/jkn.v11i3.6115.
- [8] F. H. Putra and D. G. Pratomo, "Analisis Arus dan Transpor Sedimen Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3 Dimensi (Studi Kasus: Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku)," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v8i2.44519.
- [9] D. . Moriasi, J. . Arnold, M. . Van Liew, R. . Bingner, R. . Harmel, and T. . Veith, "MODEL EVALUATION GUIDELINES FOR SYSTEMATIC QUANTIFICATION OF ACCURACY IN WATERSHED SIMULATIONS," *Colomb. Med.*, vol. 39, no. 3, pp. 227–234, 2007.
- [10] A. Milasari, D. H. Ismunarti, E. Indrayanti, F. Muldiyatno, A. Ismanto, and A. Rifai, "Model Arus Permukaan Teluk Lampung pada Musim Peralihan II dengan Pendekatan Hidrodinamika," *Fak. Perikan. dan Ilmu Kelautan, Univ. Diponegoro*, vol. 10, no. 3, pp. 259–268, 2021, doi: 10.14710/buloma.v10i3.38293.
- [11] A. Tri, S. P. Widodo, Y. N. Santosa, Hendra, and U. Choirul, "ANALISIS MASSA AIR MUSIMAN DI SELAT SUNDA," *Hidro-oseanografi, Sekol. Tinggi Teknol. Angkatan laut*, 2017.
- [12] P. Purmono, S. Monang, T. M. Alam, and W. S. Pranawo, "Rezim Horisontal dan Vertikal Arus Monsun di Selat Sunda," *J. Hidropilar*, vol. 4, no. 1, pp. 25–30, 2018, doi: 10.37875/hidropilar.v4i1.93.
- [13] A. Heriati, E. Mustikasari, and M. Al Azhar, "Variabilitas Pola Arus dan Gelombang di Selat Karimata," *J. Segara*, vol. 11, no. 1, 2015, doi: 10.15578/segara.v11i2.9087.
- [14] E. Aldrian, *Meteorologi Laut Indonesia*, no. June 2008. 2008. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/E-dvin-Aldrian/publication/305809658_Meteorologi_Laut_Indonesia/links/581d946f08aeccc08aeed493/Meteorologi-Laut-Indonesia.pdf
- [15] S. N. Siregar, L. P. Sari, N. P. Purba, W. S. Pranawo, and M. L. Syamsuddin, "Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsun dan Arlindo pada tahun 2015," *Depik*, vol. 6, no. 1, pp. 44–59, 2017, doi: 10.13170/depik.6.1.5523.
- [16] I. Kusumawati, "Pemodelan Dinamika Arus Perairan Indonesia Yang Disebabkan Oleh Angin," *J. Perikan. Trop.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2016, doi: 10.35308/jpt.v3i1.31.
- [17] E. Minarto, H. Surbaktu, E. Voranda, T. Giok Pin, M. Misli, and E. Saputra, "Kaitan aktivitas vulkanik dengan distribusi sedimen dan kandungan suspensi di perairan selat sunda," no. January, 2008.
- [18] R. Oktavia, J. I. Pariwono, P. Manurung, and I. Pendahuluan, "VARIASI MUKA LAUT DAN ARUS GEOSTROFIK PERMUKAAN PERAIRAN SELAT SUNDA BERDASARKAN DATA PASUT DAN ANGIN TAHUN 2008 SEA LEVEL VARIATION AND GEOSTROPHIC CURRENT OF THE SUNDA STRAIT BASED ON TIDAL AND WIND DATA IN YEAR 2008 Variasi Muka Laut Dan Arus Geostrofi," vol. 3, no. 2, pp. 127–152, 2011.