



## Pemodelan Arus Pasang Surut Di Perairan Pantai Malalayang Menggunakan Pemodelan Numerik

Chrisel N. M. Manopo<sup>#a</sup>, Muhammad I. Jasin<sup>#b</sup>, Arthur H. Thambas<sup>#c</sup>  
Ariestides K. T. Dundu<sup>#d</sup>, Jeffry D. Mamoto<sup>#e</sup>, Cindy J. Supit<sup>#f</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia  
<sup>a</sup>chriselmanopo@gmail.com, <sup>b</sup>muhammad.jasin@unsrat.ac.id, <sup>c</sup>arthur.thambas@unsrat.ac.id  
<sup>d</sup>torry@unsrat.ac.id, <sup>e</sup>jeffrymamoto@gmail.com, <sup>f</sup>cindyjeanesupit@unsrat.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tipe pasang surut dan pola arus pasang surut di perairan Pantai Malalayang, Kecamatan Malalayang, Kota Manado, menggunakan pemodelan numerik dengan perangkat lunak MIKE 21 Flexible Mesh (FM). Data yang digunakan meliputi data pasang surut dari Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI), data angin dari NASA POWER, data batimetri dari GEBCO, serta peta lokasi dari Google Earth. Penelitian dilakukan dengan pendekatan musiman yang mewakili tiga musim utama, yaitu musim barat (Januari 2019), musim peralihan (April 2019), dan musim timur (Juni 2019), masing-masing selama satu bulan dengan interval data per jam. Proses pemodelan dilakukan melalui pengolahan data batimetri, pembentukan mesh domain, input kondisi batas pasang surut dan angin, serta simulasi hidrodinamika menggunakan MIKE 21. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe pasang surut di Pantai Malalayang pada ketiga musim tergolong pasang surut campuran condong ke harian ganda (mixed semi-diurnal tide), yang ditandai dengan terjadinya dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari dengan amplitudo yang tidak seragam. Pola arus pasang surut menunjukkan perbedaan karakteristik pada setiap musim. Musim barat didominasi arus bergerak dari barat daya menuju timur laut dengan kecepatan maksimum sebesar 0,334608 m/s, musim peralihan menunjukkan arus relatif lebih lemah dengan arah dominan menuju barat daya dan kecepatan maksimum sebesar 0,071699 m/s, sedangkan musim timur memiliki arus paling kuat dengan arah dominan ke barat dan kecepatan maksimum sebesar 0,600107 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi musiman dan pengaruh angin berperan dalam membentuk dinamika arus pasang surut di Pantai Malalayang sehingga dapat menjadi dasar informasi dalam pengelolaan wilayah pesisir dan pembangunan infrastruktur pantai secara berkelanjutan.

*Kata kunci: arus pasang surut, pemodelan numerik, MIKE 21, Pantai Malalayang, hidrodinamika pesisir, pasang surut campuran*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar belakang

Pantai merupakan wilayah yang berada di antara batas laut dan daratan, sehingga memiliki karakteristik yang kompleks serta potensi sumber daya alam yang besar dan penting bagi masyarakat sekitarnya (Hidayati, 2017). Kawasan pesisir digunakan untuk berbagai keperluan, seperti wisata, pemukiman, perikanan, dan pelabuhan, yang menuntut pengelolaan serta perlindungan lingkungan pantai yang efektif. Pergerakan angin dan arus di wilayah pantai dapat menyebabkan kerusakan berupa pembentukan gelombang dan perubahan garis pantai. Oleh karena itu, pemahaman serta pemodelan dinamika arus pasang surut menjadi sangat krusial untuk mengantisipasi dampak tersebut sekaligus memaksimalkan pemanfaatan sumber daya kawasan pantai. Pemodelan tersebut didasarkan pada pendekatan matematis yang menggunakan variabel-variabel tertentu guna merepresentasikan kondisi nyata suatu daerah. Semakin banyak variabel

yang dimasukkan, maka model akan semakin akurat, meskipun proses penyelesaiannya menjadi lebih kompleks (Muhammad Agus, 2025).

Dalam penelitian ini, aplikasi MIKE 21, yang merupakan perangkat lunak pemodelan dua dimensi (2D), mampu memberikan simulasi yang akurat terhadap aliran dan pergerakan air di daerah pesisir, muara sungai, dan sungai. Sistem ini memungkinkan prediksi yang tepat terkait tingkat air, arus, variasi suhu, dan potensi kejadian banjir serta unggul dalam menangani topografi dasar laut yang kompleks beserta pengaruh eksternal seperti angin.

Salah satu lokasi yang relevan untuk penerapan aplikasi tersebut adalah Pantai Malalayang, yang terletak di Desa Malalayang Dua, Kecamatan Malalayang, Kota Manado, Sulawesi Utara. Pantai ini dimanfaatkan sebagai objek wisata, terutama melalui keberadaan Manado Beach Walk (MBW) 2 yang didukung oleh sarana dan prasarana yang dibangun oleh pemerintah Kota Manado. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan arus pasang surut di perairan Pantai Malalayang menggunakan aplikasi MIKE 21 sebagai upaya mendukung pengelolaan kawasan pesisir yang berkelanjutan dan optimal.

Perlunya penelitian di pantai Malalayang ini didasari oleh masih sedikitnya kajian yang menggunakan aplikasi Mike 21 ini di lokasi tersebut khususnya penelitian pemodelan arus pasang surut yang menggunakan tiga musim yang memengaruhi air laut, karena pantai ini juga merupakan kawasan wisata yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sekaligus membutuhkan pengelolaan berbasis data ilmiah.

Mengingat pesatnya pengembangan kawasan wisata Manado Beach Walk (MBW) 2 di Pantai Malalayang, pemahaman mendalam mengenai dinamika hidrodinamika menjadi sangat krusial bagi keamanan dan keberlanjutan infrastruktur. Sejalan dengan temuan Wuisan et al. (2025) yang menunjukkan bahwa pemodelan numerik dengan MIKE 21 mampu mensimulasikan pergerakan arus pasang surut secara realistis dan presisi, penelitian ini menjadi sangat diperlukan untuk dilakukan di Pantai Malalayang. Penggunaan simulasi numerik ini tidak hanya menyediakan data temporal yang lebih akurat dibandingkan pengamatan lapangan konvensional, tetapi juga menjadi instrumen ilmiah yang esensial dalam perencanaan zonasi wisata, mitigasi risiko banjir rob, serta perlindungan aset infrastruktur pantai dari dinamika laut yang dinamis di perairan Malalayang.

## 1.2. Rumusan Masalah

1. Tipe pasang surut apa yang terjadi di Pantai Malalayang?
2. Bagaimana pola arus pasang surut yang terjadi di Pantai Malalayang?

## 1.3. Batasan Penelitian

1. Penelitian dilakukan hanya pada Pantai Malalayang, Desa Malalayang Dua, Kecamatan Malalayang, Kota Manado, Sulawesi Utara.
2. Aplikasi yang digunakan untuk penelitian ini yaitu Mike 21.
3. Data input yang digunakan adalah data pasang surut dan data angin tahun 2019.

## 1.4. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui tipe arus pasang surut yang terjadi di Pantai Malalayang.
2. Mendapatkan pola arus yang ada di Pantai Malalayang melalui pemodelan numerik.

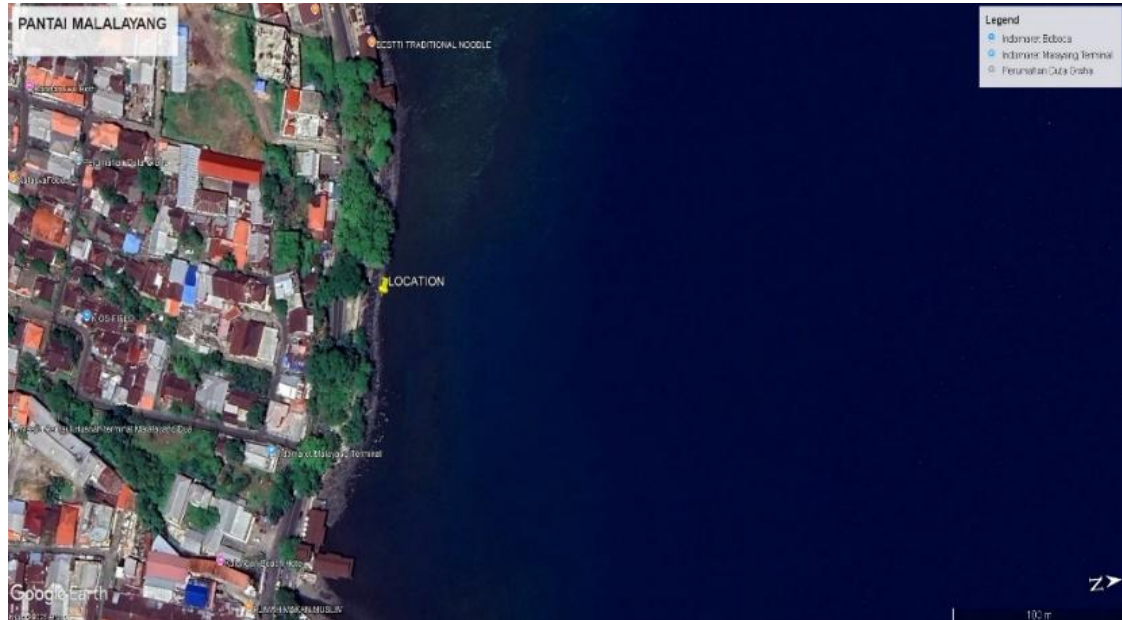
## 1.5. Manfaat Penelitian

1. Untuk mengetahui dinamika arus pasang surut di Pantai Malalayang, Desa Malalayang Dua, Kecamatan Malalayang, Kota Manado, Sulawesi Utara.
2. Mempermudah prediksi kondisi arus dan pasang surut yang dapat berpengaruh terhadap aktivitas pembangunan dan infrastruktur pesisir, sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan akibat perubahan kondisi laut.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian terletak di Pantai Malalayang, Kecamatan Malalayang, Kota Manado yang secara geografis berada  $1^{\circ}27'37.67''\text{LU}$  dan  $124^{\circ}47'32.27''\text{BT}$ .



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian  
(Sumber: Google Earth Pro)

### 2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui kunjungan langsung atau melalui website resmi ke lembaga instansi terkait untuk memperoleh informasi yang relevan untuk penelitian yang akan dilakukan, dan juga menggunakan perangkat lunak (software) penunjang. Data – data yang dimaksud meliputi:

1. Data Pasang Surut diperoleh dari website Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan periode waktu selama satu bulan yaitu pada bulan Januari, April, Juni 2019 dengan interval waktu setiap satu jam.
2. Data Angin yang diperoleh dari NASA POWER, data yang digunakan mencakup periode satu bulan, yaitu pada bulan Januari, April, Juni 2019, dengan selang waktu setiap satu jam.
3. Data Bathimetri diperoleh dari website GEBCO
4. Peta lokasi / satelit, dari software Google Earth Pro

### 2.3. Bagan Alir Penelitian

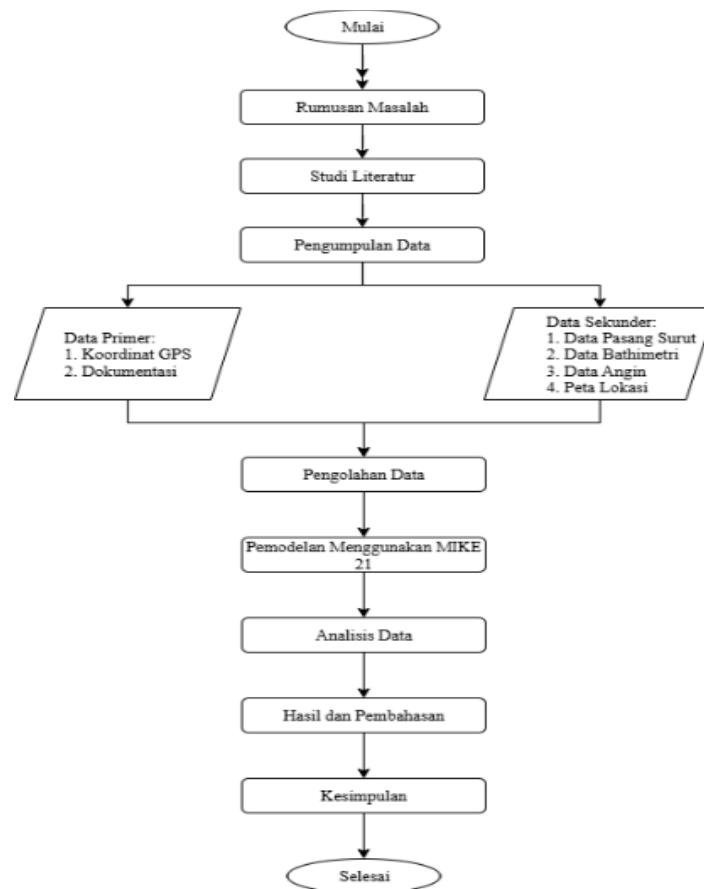
Metode penelitian pada Tugas Akhir ini disusun ke dalam suatu bagan alir. Bagan alir tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

### 2.4. Pengolahan Data

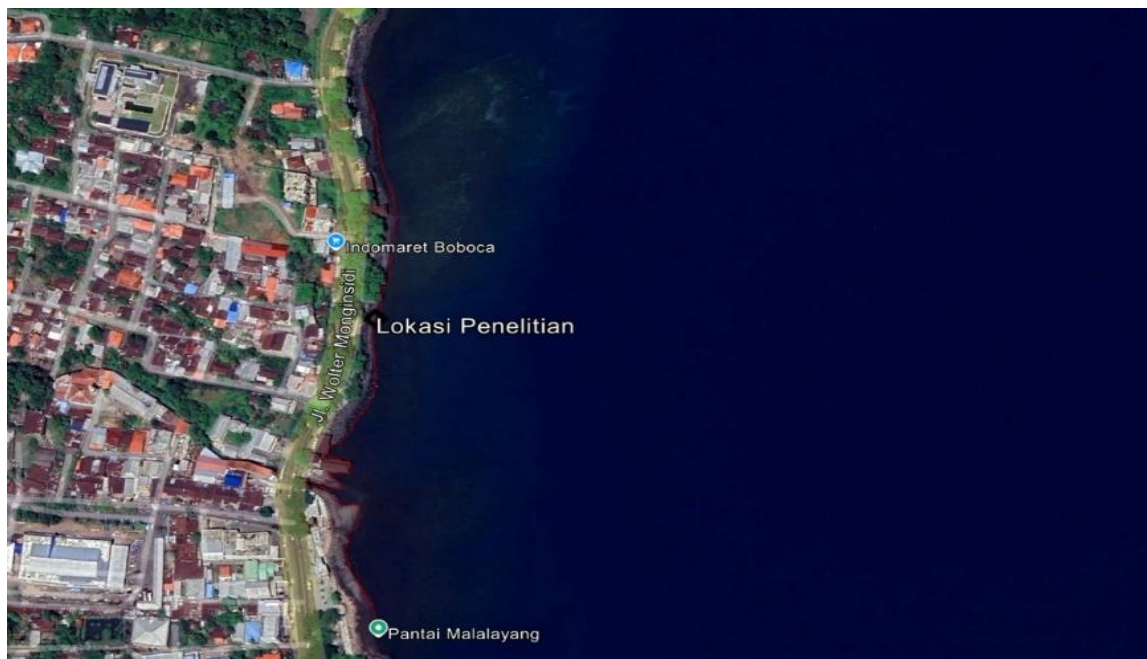
Pada tahap awal pemodelan numerik menggunakan MIKE 21, dibutuhkan berbagai data spasial dan oseonografi yang harus di proses serta di sesuaikan dengan format input perangkat lunak MIKE 21, proses ini melibatkan penggunaan Google Earth Pro, MIKE ZERO dan ArcGIS, serta melalui beberapa tahapan proses data untuk menjamin akurasi spasial dan kompatibilitas antar perangkat lunak yang digunakan.

### 2.4.1 Pembuatan Garis pantai Menggunakan Google Earth Pro

Garis pantai merupakan komponen penting dalam menentukan batas domain suatu model. Dalam penelitian ini, garis pantai Malalayang diperoleh melalui proses digitalisasi manual menggunakan Google Earth Pro.



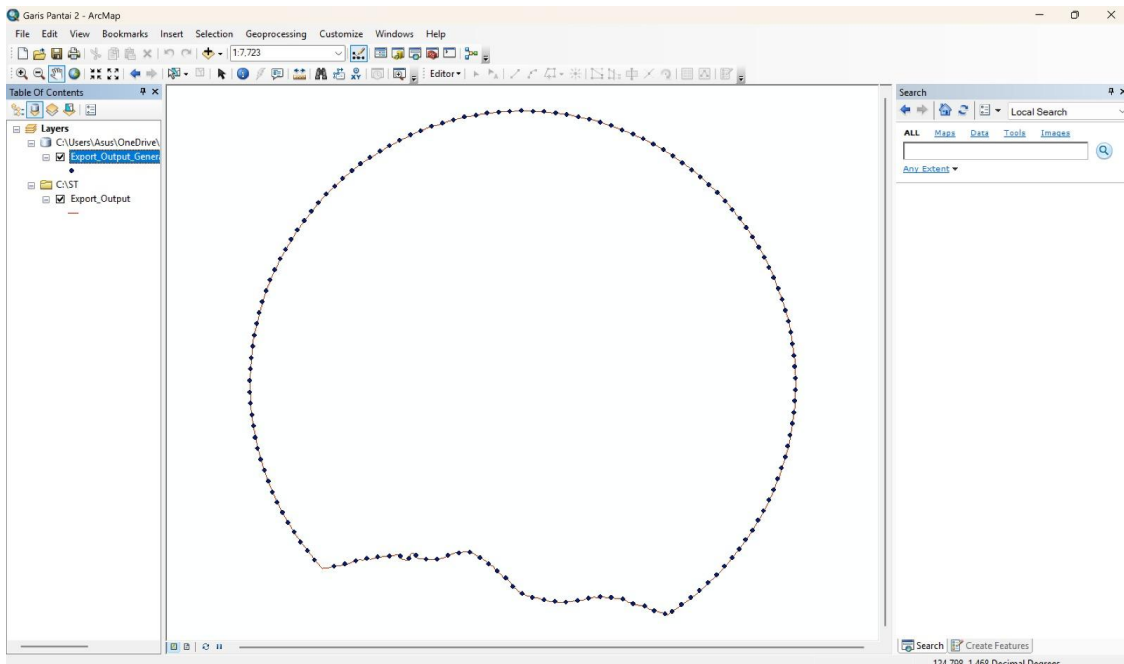
**Gambar 2.** Bagan Alir Penelitian



**Gambar 3.** Garis Pantai Malalayang  
(Sumber: Google Earth Pro)

## 2.4.2 Boundry

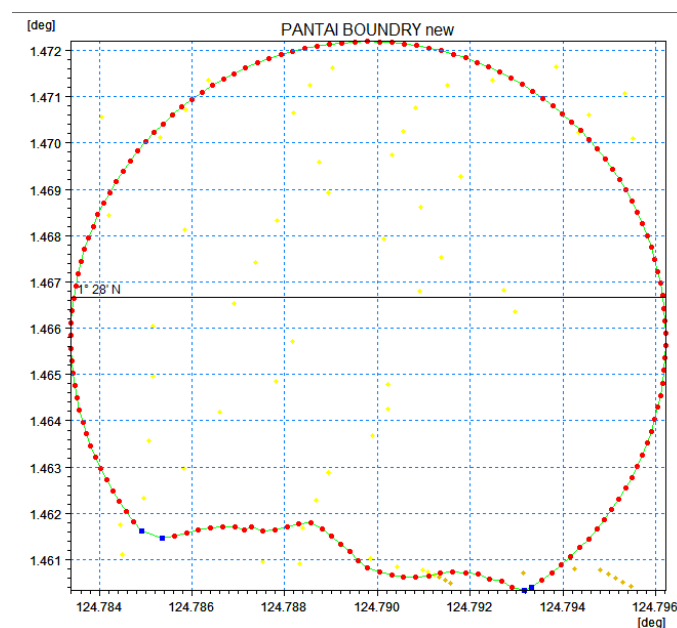
Boundry atau batas domain model diperlukan untuk menentukan area simulasi arus dalam perangkat lunak MIKE 21. Pembuatan boundry ini dilakukan berdasarkan wilayah sekitar garis pantai mencakup area pesisir dan laut terbuka.



**Gambar 4.** Point Boundry  
(Sumber: ArcGIS)

## 2.4.3 Pengolahan Data Batimetri

Pengolahan data batimetri pada perangkat lunak MIKE 21 merupakan tahapan penting dalam proses pemodelan. Data batimetri yang sudah diperoleh terlebih dahulu di konversi ke dalam format yang sesuai, seperti file XYZ, kemudian dilakukan proses interpolasi menggunakan modul Mesh Generator atau Grid Editor untuk membentuk *domain model*. Selanjutnya, dilakukan pengecekan kualitas data agar tidak terdapat nilai kedalaman yang tidak logis.

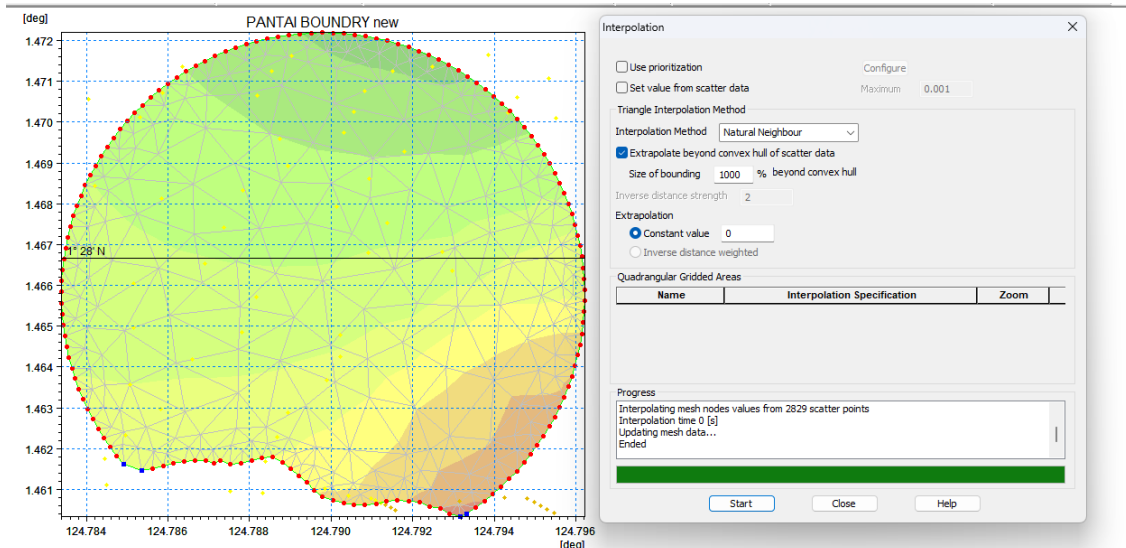


**Gambar 5.** Point Boundry  
(Sumber: ArcGIS)

## 2.5. Penginputan Data Model di MIKE 21

### 2.5.1. Pembuatan Mesh Domain

Proses pembuatan Mesh dilakukan sebagai bagian dari pengolahan data untuk menghasilkan visualisasi yang lebih jelas dengan menggabungkan peta garis pantai dan data batimetri. Pada MIKE ZERO dengan format xyz, lalu impor file .xyz batimetri hasil dari ArcGIS, lalu hubungkan data XYZ ke domain mesh dan lakukan interpolasi kedalaman ke seluruh elemen mesh lalu simpan file dengan format .dfs.



**Gambar 6.** Mesh Domain  
(Sumber: MIKE ZERO)

### 2.5.2. Data Angin

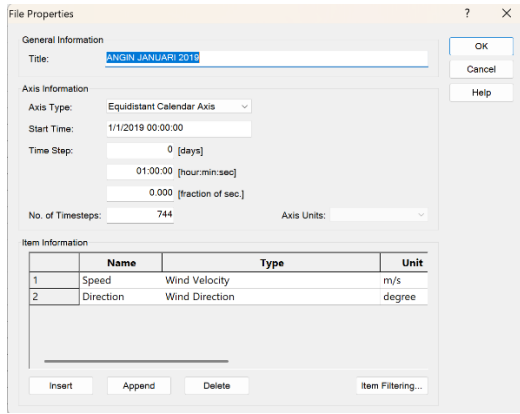
Data angin yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari NASA POWER dengan mempertimbangkan variasi musiman yang terjadi sepanjang tahun. Untuk musim barat, data yang digunakan mencakup bulan Januari; musim timur diwakili oleh bulan Juni; sedangkan musim peralihan diwakili oleh bulan April 2019, dengan periode pengamatan selama 1 bulan.

Buka MIKE ZERO dan pilih Time series untuk melakukan pengolahan data sekunder. Setelah membuka Time Series masukkan meta data file yang di atas, lalu tambahkan 2 item Wind Velocity (m/s) dan Wind Direction (degree). Setelah itu masukkan data angin speed dan arah perjam secara manual di import dari excel, lalu simpan file dengan format data angin musim Barat.

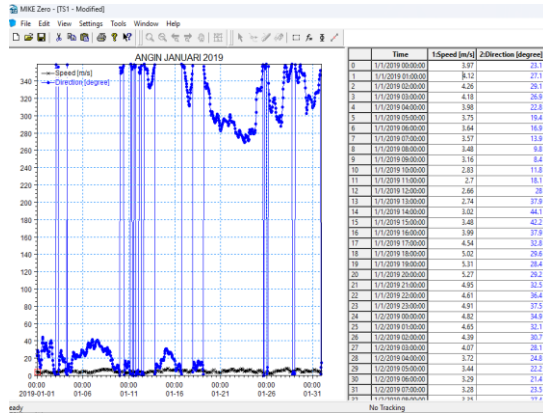
### 2.5.3. Data Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Badan Geospasial Indonesia (BIG) dan di susun berdasarkan pendekatan musiman. Untuk musim barat, data yang digunakan mencakup bulan Januari; musim timur diwakili oleh bulan Juni; sedangkan musim peralihan diwakili oleh bulan April 2019, dengan periode pengamatan selama 1 bulan.

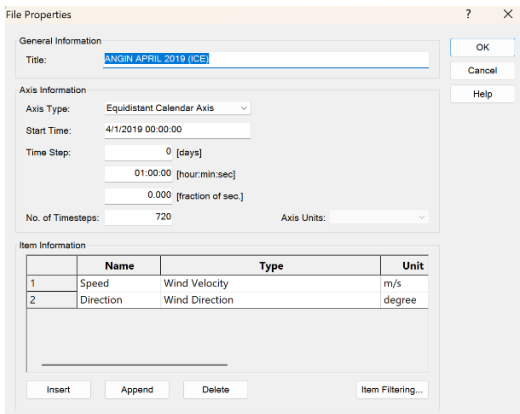
Memasukkan meta file, selanjutnya pilih water level dengan unit meter. Lalu masukkan data pasang surut per jam secara manual di impor dari excel lalu file disimpan dengan format .dfs.



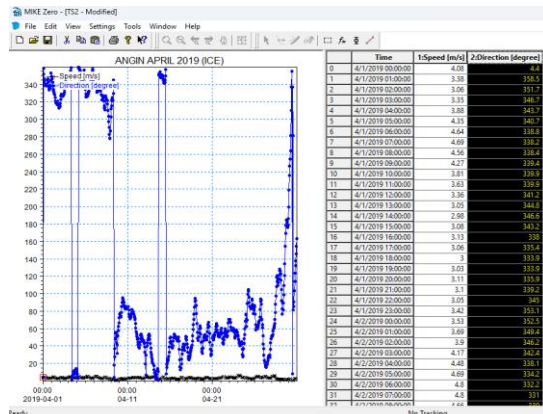
**Gambar 7a.** Properties Data Angin Musim Barat (Sumber: MIKE ZERO)



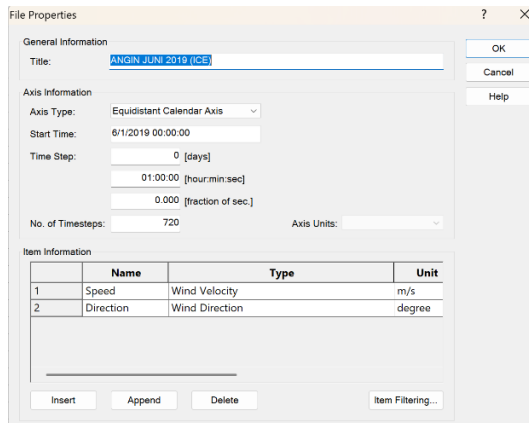
**Gambar 7b.** Time Series Data Angin Musim Barat (Sumber: MIKE ZERO)



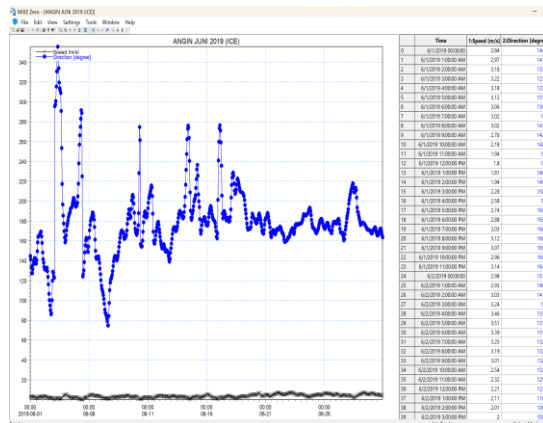
**Gambar 7c.** Properties Data Angin Musim Peralihan (Sumber: MIKE ZERO)



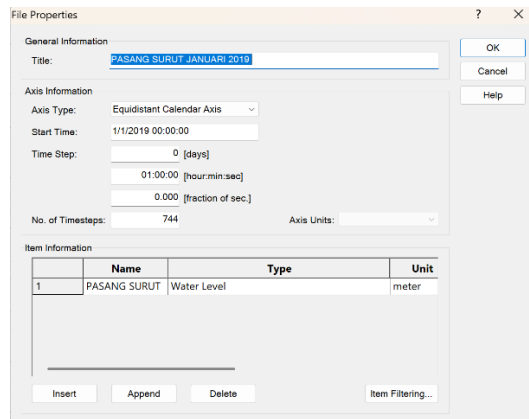
**Gambar 7d.** Time Series Data Angin Musim Peralihan (Sumber: MIKE ZERO)



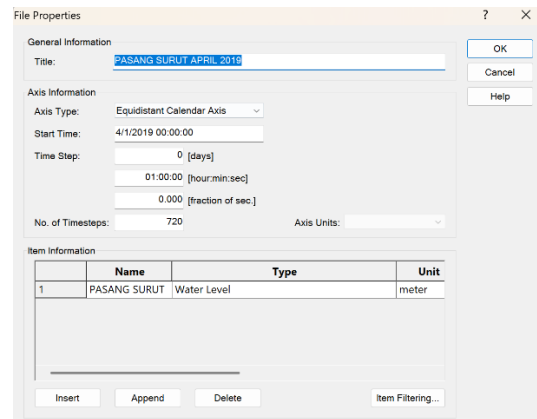
**Gambar 7e.** Properties Data Angin Musim Timur (Sumber: MIKE ZERO)



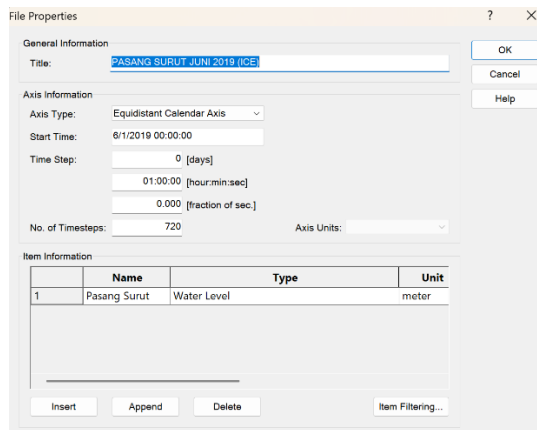
**Gambar 7f.** Time Series Data Angin Musim Timur (Sumber: MIKE ZERO)



**Gambar 8a.** Properties Pasang Surut Musim Barat  
(Sumber: MIKE ZERO)



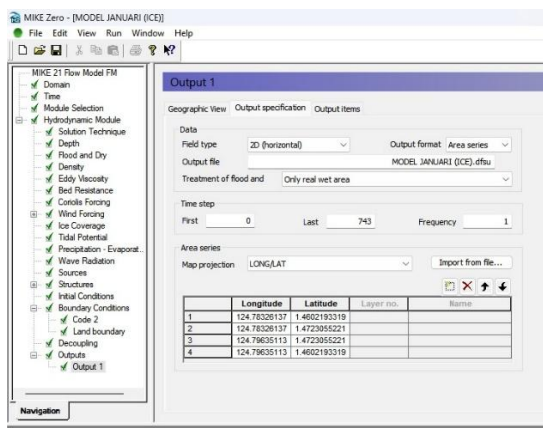
**Gambar 8b.** Properties Pasang Surut Musim Peralihan  
(Sumber: MIKE ZERO)



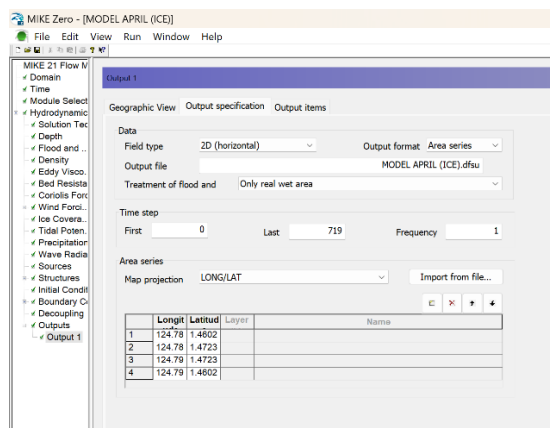
**Gambar 8c.** Properties Data Angin Musim Timur  
(Sumber: MIKE ZERO)

## 2.6. Pembuatan Model MIKE 21

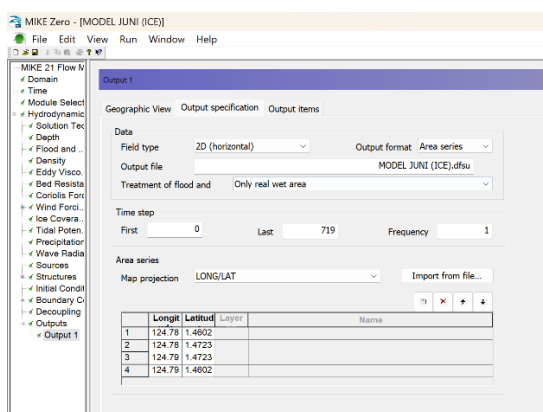
Model numerik arus pasang surut dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 Flexible Mesh (FM). Pada bagian domain, mesh yang telah dibuat sebelumnya di Mesh Generator kemudian diinput untuk digunakan dalam proses pemodelan. Pada bagian Time dimasukkan metadata, Untuk musim barat, data yang digunakan mencakup bulan Januari; musim timur diwakili oleh bulan Juni; sedangkan musim peralihan diwakili oleh bulan April 2019, dengan periode pengamatan selama 1 bulan, digunakan Hydrodynamic Module dengan mengaktifkan fitur wind forcing. Pilih varying in time, constant in domain. Selanjutnya, masukkan data angin yang telah diperoleh, Selanjutnya, dilakukan pengaturan kondisi batas (boundary condition), di mana pada kode 2 pilih type specified level lalu format varying in time, constant in domain lalu masukkan data pasang surut yang telah diperoleh. Pilih menu Output, kemudian atur output format menggunakan Area Series. Selanjutnya, simpan file dalam format dfsu. Setelah itu, model dapat langsung dijalankan (run).



Gambar 9a. Model MIKE 21 FM Musim Barat (Sumber: MIKE ZERO)



Gambar 9b. Model MIKE 21 FM Musim Peralihan (Sumber: MIKE ZERO)

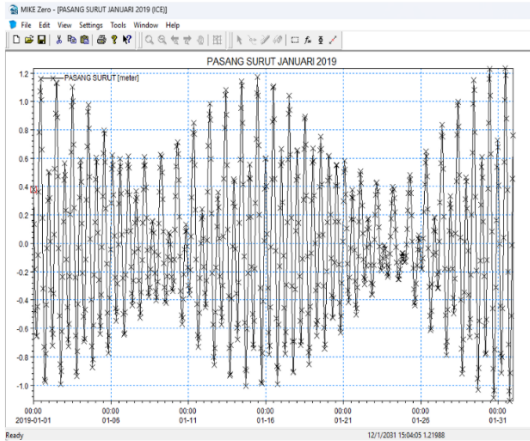


Gambar 9c. Model MIKE 21 FM Musim Timur (Sumber: MIKE ZERO)

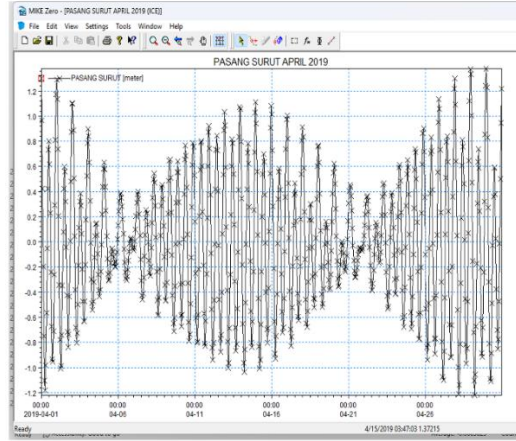
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Tipe Pasang Surut

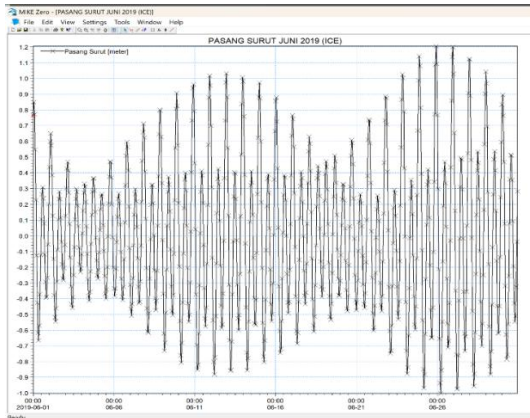
Berdasarkan grafik pasang surut yang dibuat dari Time Series di MIKE Zero pada musim barat, data yang digunakan mencakup bulan Januari; musim timur diwakili oleh bulan Juni; sedangkan musim peralihan diwakili oleh bulan April 2019, dengan periode pengamatan selama 1 bulan, terlihat bahwa dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Namun demikian, tinggi muka air pada pasang pertama dan pasang kedua menunjukkan perbedaan elevasi, begitu pula pada kondisi surutnya. Pola ini mengindikasikan bahwa tipe pasang surut yang terjadi pada bulan Januari termasuk dalam pasang surut campuran condong ke harian ganda (mixed semi-diurnal tide).



**Gambar 10a.** Time Series Data Pasang Surut Bulan Januari 2019  
(Sumber: MIKE ZERO)



**Gambar 10b.** Time Series Data Pasang Surut Bulan April 2019  
(Sumber: MIKE ZERO)



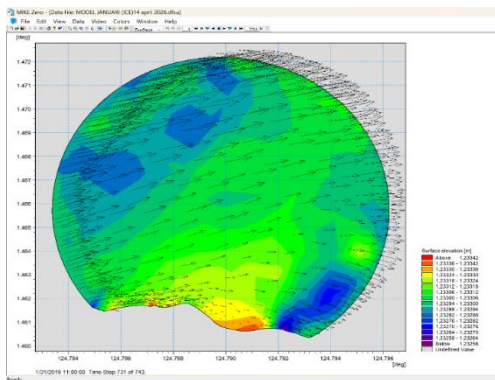
**Gambar 10c.** Time Series Data Pasang Surut Bulan Juni 2019  
(Sumber: MIKE ZERO)

### 3.2. Pola Arus Pasang Surut

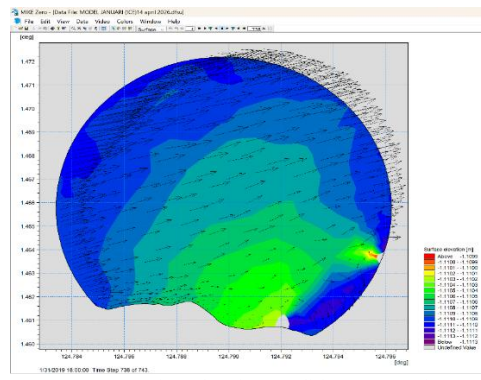
#### 3.2.1. Elevasi Permukaan

##### - Musim Barat

Pada musim barat, data SRGI menunjukkan pasang maksimum 31 Jan 2019 pukul 11:00 dengan elevasi muka air 1,233 m; arah vektor arus dominan ke timur laut mengikuti pasang maksimum. Data SRGI menunjukkan surut terendah 31 Jan 2019 pukul 18:00 dengan elevasi -1,111 m; arah vektor arus tetap dominan ke timur laut meski muka air sedang surut.



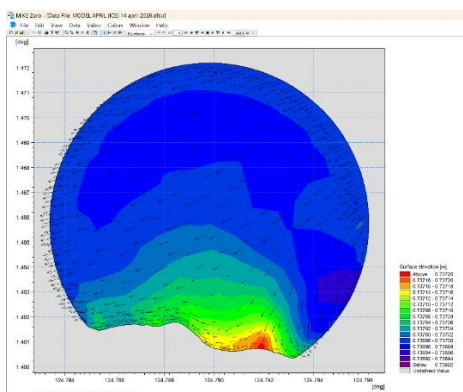
**Gambar 11a.** Surface Elevation Kondisi Pasang Januari 2019  
(Sumber: MIKE ZERO)



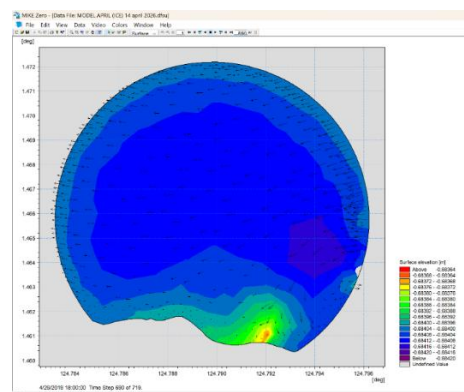
**Gambar 11b.** Surface Elevation Kondisi Surut Januari 2019  
(Sumber: MIKE ZERO)

- *Musim Peralihan*

Berdasarkan data SRGI, pasang tertinggi tercatat 29 Apr 2019 pukul 11:00 dengan elevasi muka air 1,377 m; arah vektor arus dominan ke barat daya mengikuti pasang maksimum pada musim peralihan. Berdasarkan data SRGI, surut terendah tercatat 29 Apr 2019 pukul 18:00 dengan elevasi -1,220 m; arah vektor arus dominan ke barat pada kondisi surut minimum musim peralihan.



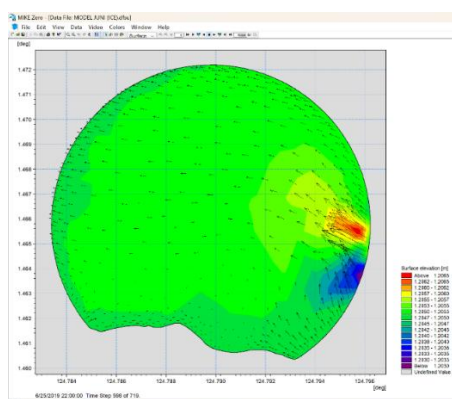
Gambar 12a. Surface Elevation Kondisi Pasang April 2019 (Sumber: MIKE ZERO)



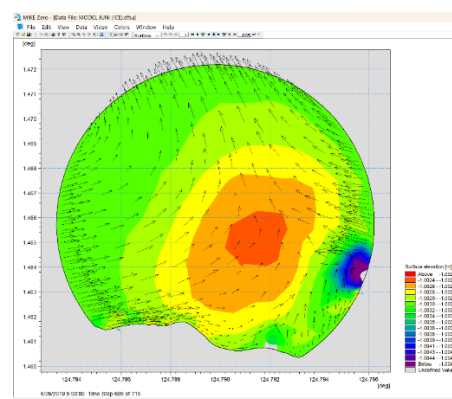
Gambar 12b. Surface Elevation Kondisi Surut April 2019 (Sumber: MIKE ZERO)

- *Musim Timur*

Berdasarkan data SRGI, pasang maksimum tercatat 25 Jun 2019 pukul 22:00 dengan elevasi muka air 1,205 m; arah vektor arus dominan ke barat mengikuti pasang maksimum pada musim timur. Berdasarkan data SRGI, surut terendah tercatat 26 Jun 2019 pukul 05:00 dengan elevasi -1,003 m; arah vektor arus cenderung menuju tepi perairan, dengan intensitas lebih kuat di area timur dekat zona elevasi terendah.



Gambar 13a. Surface Elevation Kondisi Pasang Juni 2019 (Sumber: MIKE ZERO)



Gambar 13b. Surface Elevation Kondisi Surut Juni 2019 (Sumber: MIKE ZERO)

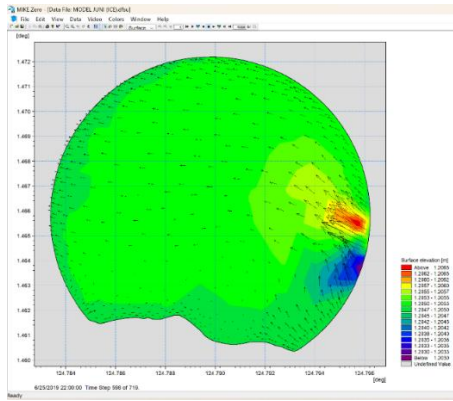
Tabel 1. Tabel Nilai Elevasi Pasang Tertinggi dan Surut Terendah

Musim	Elevasi Pasang Tertinggi (m)	Elevasi Surut Terendah (m)
Barat	1,233	-1,111
Peralihan	1,377	-1,220
Timur	1,205	-1,003

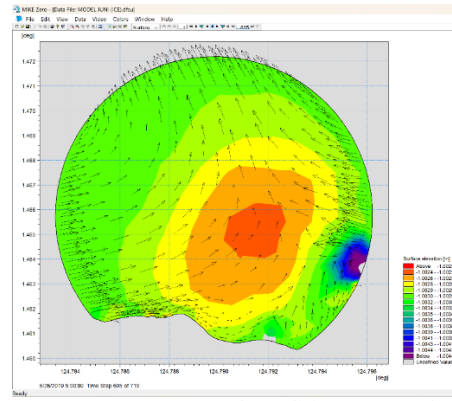
3.2.2. Analisis Kecepatan Arus

- *Musim Barat*

Berdasarkan kondisi pasang musim barat (Januari), kecepatan arus maksimum tercatat 0,334608 m/s saat pasang tertinggi; arah arus dominan bergerak ke kanan atas, artinya dari barat daya menuju timur laut. Pada kondisi surut terendah, kecepatan arus minimum tercatat 0,000569 m/s; meskipun sangat kecil, arah arus tetap dominan ke kanan atas, yaitu dari barat daya menuju timur laut.



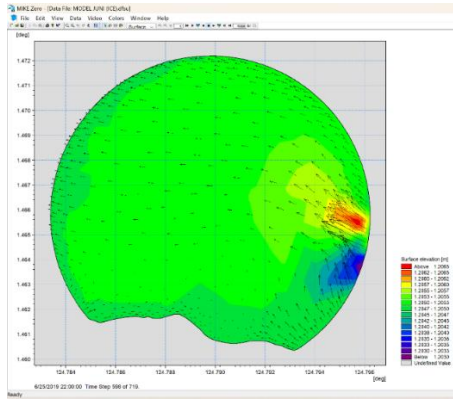
Gambar 14a. Current Speed Kondisi Pasang Januari 2019 (Sumber: MIKE ZERO)



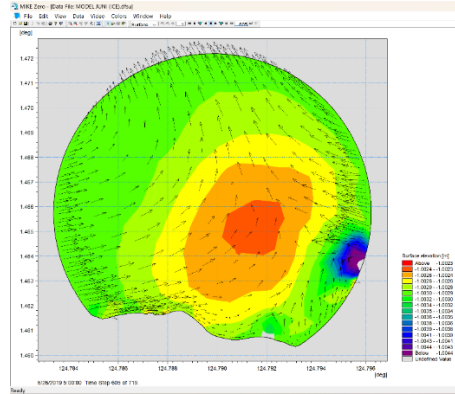
Gambar 14b. Current Speed Kondisi Surut Januari 2019 (Sumber: MIKE ZERO)

- Musim Peralihan

Pada musim peralihan (April), kecepatan arus maksimum tercatat 0,071699 m/s saat pasang tertinggi; arah arus dominan ke kiri-bawah, yaitu dari timur laut menuju barat daya. Pada kondisi surut terendah, kecepatan arus minimum tercatat 0,00020 m/s; arah arus dominan ke kiri dengan kecenderungan ke kiri-bawah, yakni dari timur menuju barat dengan kecenderungan ke barat daya.



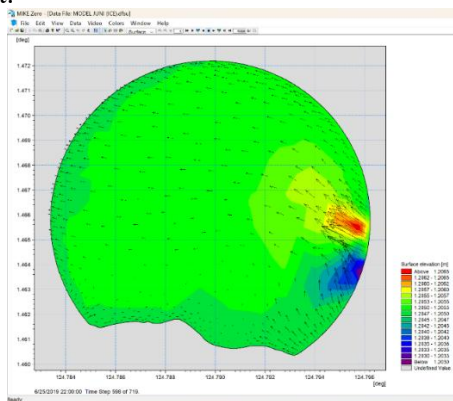
Gambar 15a. Current Speed Kondisi Pasang April 2019 (Sumber: MIKE ZERO)



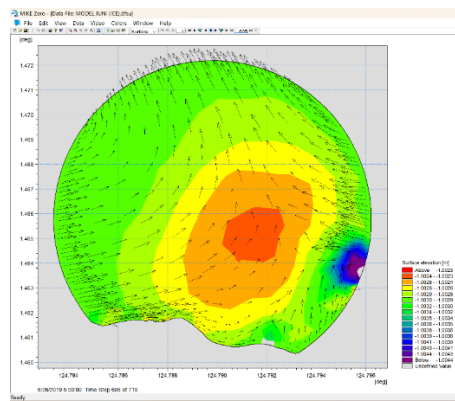
Gambar 15b. Current Speed Kondisi Surut April 2019 (Sumber: MIKE ZERO)

- Musim Timur

Pada musim timur (Juni), kecepatan arus maksimum tercatat 0,600107 m/s saat pasang tertinggi; arah arus dominan ke kiri, yaitu dari timur menuju barat. Pada kondisi surut terendah, kecepatan arus minimum tercatat 0,00058 m/s; arah arus dominan ke atas dengan kecenderungan ke kiri-atas, yaitu dari selatan menuju utara dengan kecenderungan ke barat laut.



Gambar 16a. Current Speed Kondisi Pasang Juni 2019 (Sumber: MIKE ZERO)



Gambar 16b. Current Speed Kondisi Surut Juni 2019 (Sumber: MIKE ZERO)

**Tabel 2.** Tabel Nilai Kecepatan Arus Pasang Tertinggi dan Surut Terendah

Musim	Current Speed Pasang Tertinggi (m/s)	Current Speed Surut Terendah (m/s)
Barat	0,334608	0,000569
Peralihan	0,071699	0,00020
Timur	0,600107	0,00058

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### 4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil data pasang surut dan hasil simulasi pemodelan hidrodinamika menggunakan perangkat lunak MIKE 21 Flexible Mesh (FM) di perairan Pantai Malalayang, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan grafik pasang surut yang dibuat dari Time Series MIKE Zero pada bulan Januari, April, dan Juni 2019, pola fluktuasi muka air laut menunjukkan bahwa dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, namun tinggi pasang maupun surut yang terjadi tidak selalu sama pada setiap siklus. Dengan demikian, tipe pasang surut yang terjadi di Pantai Malalayang pada bulan Januari, April, dan Juni 2019 dapat diklasifikasikan sebagai pasang surut campuran condong ke harian ganda (mixed semi-diurnal tide).
2. Sebagai Hasil pemodelan di MIKE 21 menggunakan Flow Model (FM) menunjukkan bahwa pola arus pasang surut di Pantai Malalayang mengalami perubahan arah dan kecepatan sesuai kondisi musim dan fase pasang surut.
  - Pada musim barat (Januari 2019), arah arus dominan baik saat pasang tertinggi maupun surut terendah relatif konsisten, yaitu mengalir dari barat daya menuju timur laut (SW → NE). Kecepatan arus maksimum tercatat sebesar 0,334608 m/s.
  - Pada musim peralihan (April 2019), arah arus dominan cenderung berubah dan lebih bervariasi. Saat pasang tertinggi arus bergerak dari timur laut menuju barat daya (NE → SW), sedangkan pada saat surut terendah arus bergerak dari timur menuju barat dengan kecenderungan barat daya (E → W/SW). Kecepatan arus maksimum pada musim ini relatif kecil, yaitu sebesar 0,071699 m/s.
  - Pada musim timur (Juni 2019), pola arus menunjukkan perbedaan yang jelas antara kondisi pasang dan surut. Pada saat pasang tertinggi, arus dominan mengalir dari timur menuju barat (E → W), sedangkan pada saat surut terendah arus bergerak dari selatan menuju utara dengan kecenderungan ke barat laut (S → N/NW). Musim timur menghasilkan arus paling kuat dengan kecepatan maksimum sebesar 0,600107 m/s.

Dengan demikian, interaksi antara pasang surut dan angin menghasilkan karakteristik arus yang berbeda pada setiap musim, di mana musim timur menunjukkan kondisi arus paling kuat, musim barat relatif stabil, dan musim peralihan paling lemah.

##### 4.2. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data primer (pengukuran langsung di lapangan) seperti ADCP atau current meter untuk melakukan validasi hasil model MIKE 21, sehingga tingkat akurasi model dapat diketahui secara lebih pasti.

#### Referensi

- Ayunarita, S., Elizal, & Galib, M. (2017). Studi pola arus, pasang surut, dan gelombang di perairan Pantai Pelawan, Kepulauan Riau. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau*. p-ISSN: 0853-7607.
- Bambang, T. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Darmanto. (2016). Pemodelan Arus Pasut 2D Menggunakan Perangkat Lunak Mike 21 Dengan Metode Flexible Mesh (Studi Kasus Perairan Dermaga TNI AL Pondokdayung Tanjung Priok Jakarta). *Jurnal Hidropilar*.
- Hadianto, T. R. (2012). Kajian karakteristik arus di pantai Tamban. *Jurnal Kelautan Tropis*, 75-85. p-ISSN: 1410-8852.

- Handiani. (2017). Identifikasi Perubahan Garis Pantai dan Ekosistem Pesisir di Kabupaten Subang. *Jurnal Teknik Geodesi dan Teknik Geomatika*.
- Hidayati, N. (2017). Pemanfaatan Sumber Daya Alam di Kawasan Pesisir Pantai. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 145-153.
- Hiwary, H. (2020). Pemodelan Arus Permukaan Laut Selat Lembeh, Sulawesi Utara Menggunakan Aplikasi MIKE 21. *Jurnal Akuatek*. e-ISSN: 2723-293
- Ratu, Y. A., Moningka, F. M., & Thambas, A. H. (2024). Studi Arus Retas Di Pantai Mahembang, Kecamatan Kakas, Kabupaten Minahasa. *TEKNO*.
- Roberto, P. P. (2024). Pemodelan Pola Arus Pasang Surut Menggunakan Mike 21 Di Perairan Jakarta-Cirebon. *Jurnal Maspari Unsri*.
- Tanto, S. P. (2017). Karakteristik arus laut di perairan Teluk Benoa berdasarkan data model global. *Jurnal Geomatika*, 123-134.
- Wuisan, S., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2025). Model Numerik Arus Pasang Surut Di Pantai Talawaan Baju Kabupaten Minahasa Utara. *TEKNO*.