



Pemodelan Arus Pasang Surut Dengan Pendekatan Numerik Di Pantai Manembo-nembo Kota Bitung Sulawesi Utara

Petriani Papulung^{#a}, Arthur H. Thambas^{#b}, Jeffry D. Mamoto^{#c}
Ariestides K. T. Dundu^{#d}, Muhammad I. Jasin^{#e}, Cindy J. Supit^{#f}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^apetrianipapulung021@student.unsrat.ac.id, ^barthur.thambas@unsrat.ac.id, ^cjeffrymamoto@gmail.com, ^dtorry@unsrat.ac.id,
^emuhammad.jasin@unsrat.ac.id, ^fcindyjeanesupit@unsrat.ac.id

Abstrak

Pantai Manembo-nembo merupakan kawasan pasir pesisir yang dimanfaatkan untuk aktivitas nelayan dan memiliki potensi terdampak oleh perubahan kondisi oseanografi, seperti pasang surut dan arus laut. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan arus pasang surut dikawasan tersebut dengan pendekatan numerik menggunakan perangkat lunak MIKE 21. Data yang digunakan meliputi data pasang surut, data angin dan data batimetri, yang diolah dalam format spasial menggunakan ArcGis sebelum dimasukkan ke dalam MIKE 21. Simulasi dilakukan untuk periode satu bulan (Desember 2024), dan hasilnya menunjukkan bahwa arus dominan mengarah ke timur dan tenggara dengan kecepatan maksimum mencapai 0.1231 m/s dan kecepatan minimum sebesar 0.0006 m/s. Pola pasang surut diidentifikasi sebagai tipe harian ganda (semi diurnal tide), yang ditandai dengan dua kali pasang dan dua kali surut setiap hari. Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa MIKE 21 memiliki kinerja baik dalam menghasilkan simulasi dan visualisasi arus, serta dapat dimanfaatkan sebagai dasar perencanaan dan mitigasi wilayah pesisir.

Kata kunci: arus, pasang surut, MIKE 21, pantai Manembo-nembo, hidrodinamika

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki banyak wilayah pantai. Oleh karena itu, pantai di Indonesia memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan secara intensif dalam berbagai aktivitas manusia, seperti pemukiman, pelabuhan, serta destinasi wisata. Pantai Manembo-nembo, yang terletak di Kecamatan Matuari Girian Bawah, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara, merupakan salah satu kawasan pesisir yang dimanfaatkan sebagai tempat bersandar kapal-kapal nelayan. Selain berperan penting dalam aktivitas perikanan, pantai ini juga dipengaruhi oleh kondisi alam, dimana pada waktu-waktu tertentu dapat terjadi gelombang tinggi yang cukup besar, sehingga mempengaruhi kegiatan di sekitar pantai (Mamoto, 2022).

Disebagian besar perairan, arus laut dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu angin dan pasang surut. Arus disebabkan oleh angin umumnya bersifat musiman, dimana pada satu musim arus mengalir ke arah tertentu dengan stabil, sementara pada musim berikutnya arah arus berubah mengikuti pola pergerakan angin (Lumbanraja et al., 2023). Pasang surut adalah fenomena naik turunnya permukaan air laut yang terjadi secara berkala akibat pengaruh gravitasi antara matahari, bulan dan bumi. Selain itu, pasang surut juga dipengaruhi oleh faktor lain, seperti angin, curah hujan, dan kondisi iklim (Pariwono, 1989 dalam Zahro & Zahrina W, 2024).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis pola arus laut adalah pendekatan model numerik. Dengan menggunakan model numerik, berbagai faktor yang mempengaruhi pergerakan arus seperti kecepatan angin, pasang surut, serta karakteristik dasar laut, dapat diperhitungkan. MIKE 21 adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan kawasan dan perairan laut. Dengan memasukkan data pendukung seperti batimetri, arus, dan

kedalaman di suatu wilayah, perangkat lunak ini dapat menghasilkan informasi mengenai tinggi muka air, kecepatan arus, serta arah arus dalam periode waktu tertentu (Rahma et al. 2022).

Penelitian ini diharapkan menghasilkan solusi untuk mengatasi dampak pergerakan arus pasang surut yang berpotensi mempengaruhi atau merusak muara sungai pantai Manembo-nembo. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi pertimbangan dalam menentukan langkah yang tepat untuk mengatasi permasalahan akibat arus pasang surut, guna mendukung pengembangan dan pembangunan di kawasan muara sungai pantai Manembo-nembo pada masa mendatang.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat disimpulkan bahwa ada beberapa permasalahan yaitu:

1. Bagaimana kinerja MIKE 21 dalam melakukan pemodelan arus pasang surut di wilayah Pantai Manembo-nembo?
2. Bagaimana tipe arus pasang surut yang terjadi di Pantai Manembo-nembo?

1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi permasalahan yang ditinjau, maka digunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Pantai Manembo-nembo, Kecamatan Girian, Kota Bitung
2. Pengelolaan data menggunakan pendekatan numerik Software MIKE 21
3. Pada penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari sumber- sumber yang berwenang yang mencakup data pasang surut, data angin, data bathymetri pada Pantai Manembo-nembo
4. Data suhu dan hujan tidak diperhitungkan

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui kinerja MIKE 21 dalam mensimulasikan arus pasang surut secara dua dimensi di Pantai Manembo-nembo
2. Untuk mengetahui tipe arus pasang surut yang terjadi di Pantai Manembo-nembo

1.5. Manfaat Penelitian

1. Menambah referensi dan wawasan dalam studi hidrodinamika, khususnya pemodelan arus pasang surut menggunakan pendekatan numerik
2. Membantu dalam perencanaan mitigasi bencana terkait perubahan arus pasang surut serta mendukung upaya pelestarian ekosistem pesisir di wilayah penelitian

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Peninjauan lokasi perlu dilakukan sebagai langkah awal untuk memahami kondisi lapangan serta mengidentifikasi berbagai permasalahan yang mungkin terjadi di area penelitian. Lokasi penelitian terletak di Pantai Manembo-nembo, Girian Bawah, Kecamatan Girian, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara.

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan dilakukan dengan memanfaatkan situs-situs yang terkait dengan sumber data dan juga dengan memanfaatkan software-software pendukung sesuai dengan kebutuhan penelitian. Data-data yang dimaksud meliputi:

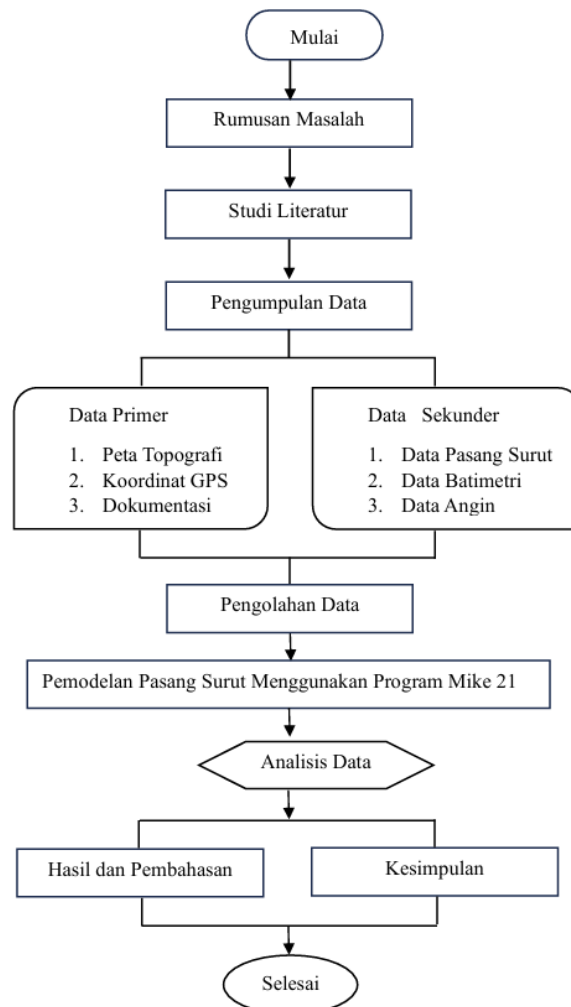
1. Data kecepatan angin periode satu bulan (1 s/d 31 Desember 2024), dari situs web POWER (Prediction of Worldwiew Enery Resources) yang merupakan bagian dari NASA (National Aeronautics and Space Administration)

2. Data Pasang Surut periode satu bulan (1 s/d 31 Desember 2024), dari situs web BIG (Badan Informasi Geospasial)
3. Data Bathimetri dari web BATNAS
4. Peta lokasi / satelit, dari *software Google Earth*



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth)

2.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengolahan Data

Pengolahan data awal merupakan tahap penting dalam pemodelan numerik arus pasang surut, yang memerlukan data spasial dan oseanografi dengan ketelitian tinggi. Data tersebut harus dipersiapkan dan disesuaikan agar kompatibel dengan format input perangkat lunak MIKE 21. Proses ini mencakup penggunaan berbagai perangkat lunak pendukung seperti Google Earth Pro dan ArcGIS, serta melalui beberapa tahapan praproses data yang bertujuan untuk menjamin akurasi spasial, konsistensi sistem koordinat, dan integrasi data antar platform. Tahap ini sangat menentukan kualitas hasil pemodelan yang akan dilakukan.

3.1.1 Pembuatan Garis Pantai menggunakan Goggle Earth Pro

Garis pantai memiliki peran penting dalam menentukan batas wilayah kerja (domain) pada suatu model. Pada penelitian ini, garis pantai Manembo-nembo dibuat dengan metode penelusuran manual menggunakan bantuan perangkat lunak Google Earth Pro.



Gambar 3. Garis Pantai Manembo-nembo

3.1.2 Pembuatan Boundary Domain di ArcGIS

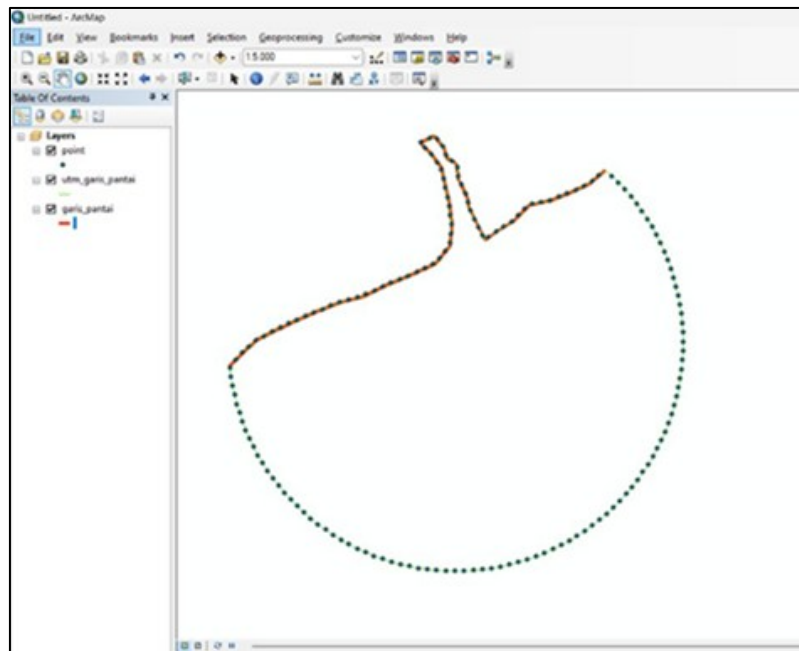
Dalam pemodelan arus menggunakan MIKE 21, diperlukan batas domain atau boundary yang berfungsi sebagai penentu cakupan area simulasi dalam pemodelan arus menggunakan MIKE 21. Proses pembuatannya di dasarnya pada area yang mengelilingi garis pantai dan diperluas hingga mencakup wilayah pesisir serta sebagian laut lepas.

Garis pantai yang telah diproses di ArcGIS digunakan sebagai referensi utama untuk sistem daratan pada batas domain model. Sistem koordinat yang diterapkan selama proses adalah UTM Zona 51N dengan datum WGS 84, untuk memastikan kesesuaian spasial. Pada sisi laut, garis batas luar (open boundary) ditambahkan secara manual sesuai dengan arah yang diinginkan agar cakupan area mencakup laut terbuka.

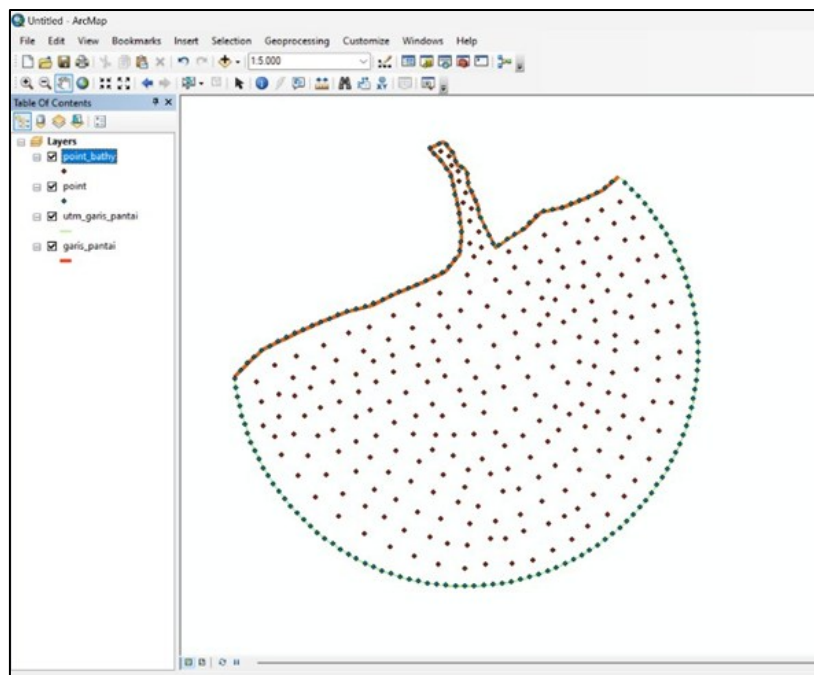
3.1.3 Pengolahan Data Batimetri di ArcGIS

Data batimetri yang digunakan dalam pemodelan numerik arus diperoleh dari sumber resmi

yaitu BATNAS yang berfungsi untuk menggambarkan bentuk dasar laut. Data ini diolah di ArcGIS agar sesuai dengan format yang dibutuhkan oleh MIKE 21. Data batimetri yang diperoleh dari BATNAS diimpor ke Arcgis, lalu disesuaikan sistem proyeksinya dengan boundary model, yaitu UTM Zona 51N (WGS 84).



Gambar 4. Point Boundary



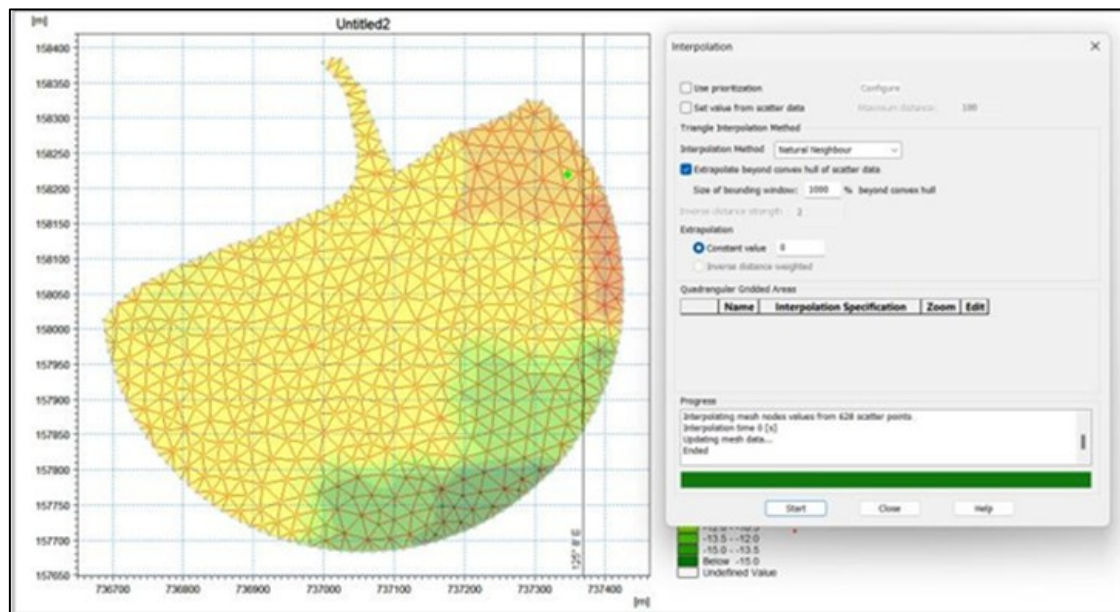
Gambar 5. Point Batimetri

3.2 Penginputan data Model MIKE Zero

3.2.1 Pembuatan Mesh Domain

Untuk membentuk domain model pada MIKE Zero yaitu menggunakan Mesh Generator sebagai platform, kemudian mengimport file *boundary* dan hasil penelusuran pantai dari ArcGIS ke MIKE Zero dalam format .xyz. Selanjutnya data batimetri di import kedalam format .xyz xllalu

dikaitkan dengan domain mesh yang telah dibuat. Agar nilai kedalaman tersebar merata keseluruhan elemen mesh dapat dilakukan interpolasi kedalaman lalu file disimpan dalam format .dms.



Gambar 6. Mesh Domain

3.2.2 Data Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG), dengan periode pencatatan selama 31 hari, yaitu sepanjang bulan Desember 2024. Data ini digunakan sebagai input penting dalam pemodelan arus pasang surut.

Menginput data pasang surut yang nantinya akan di simpan dengan format .dfsu, dilakukan di Time Series Editor dengan memasukkan metadata file:

Axis Type	: Equidistant calendar axis
Start Time	: 12/01/2024 00:00:00
Time Step	: 01:00:00
No. of Timesteps	: 743

Selanjutnya memilih water level dengan unit meter lalu memasukkan data pasang surut per jam secara manual dengan mengimport dari MS. Excel.

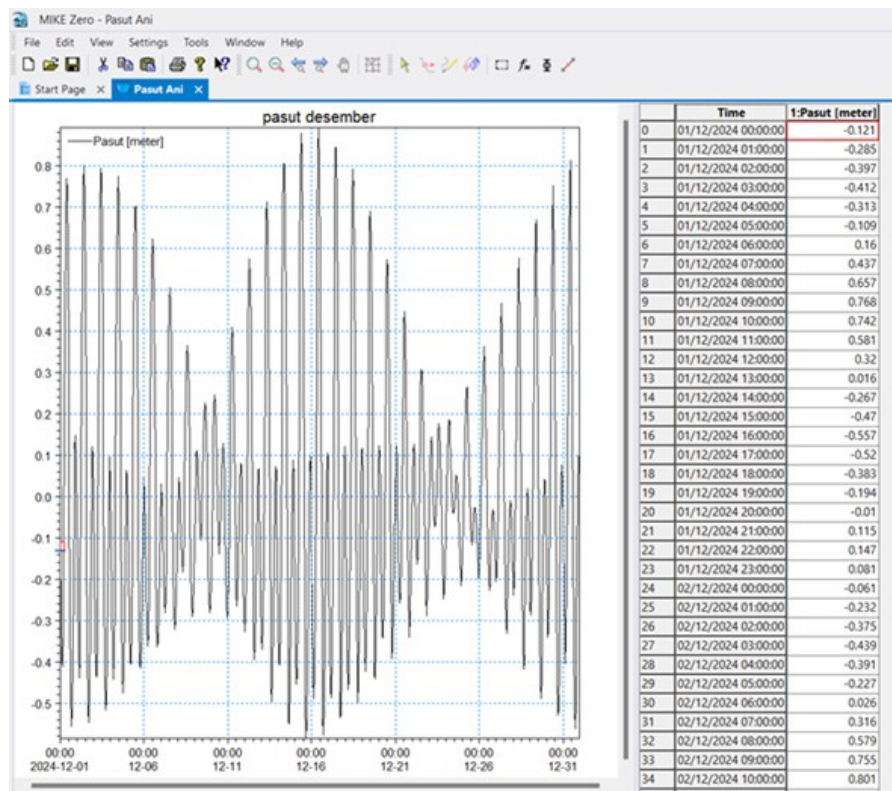
3.2.3 Data Angin

Data angin yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari NASA, dengan periode pengambilan data selama 31 hari pada bulan Desember 2024. Pemilihan periode ini deselaraskan dengan data pasang surut, agar seluruh parameter yang digunakan dalam pemodelan berada dalam rentang waktu yang sama.

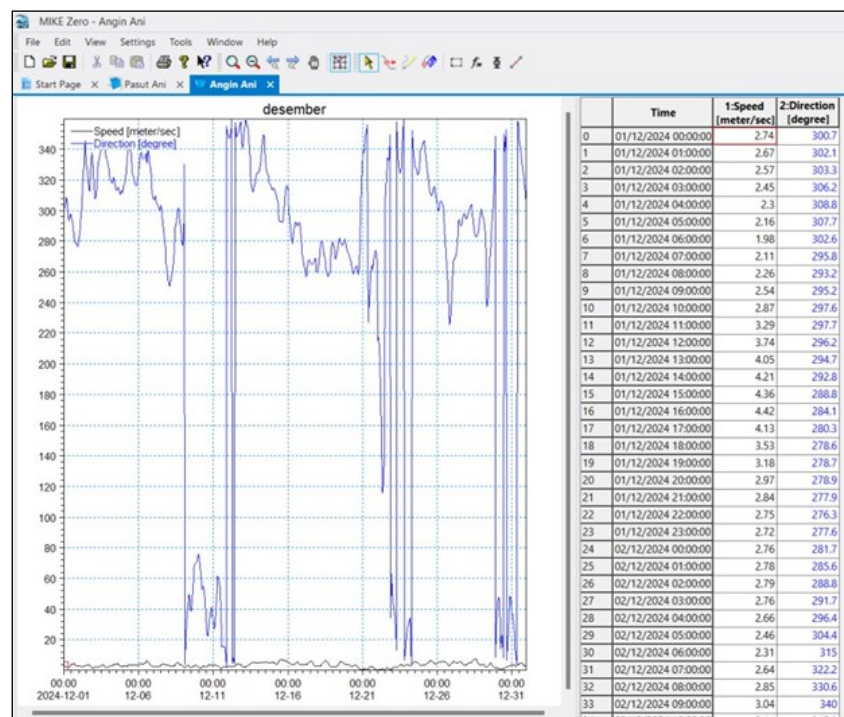
Menginput data angin yang nantinya akan di simpan dengan format .dfsu, dilakukan di Time Series Editor dengan memasukkan metadata file:

Axis Type	: Equidistant calendar axis
Start Time	: 12/01/2024 00:00:00
Time Step	: 01:00:00
No. of Timesteps	: 743

Selanjutnya menambahkan 2 item yakni Wind Velocity (m/s) dan Wind Direction (degree), lalu memasukkan data angin speed dan juga arah per jam secara manual dengan mengimport dari MS. Excel.



Gambar 7. Grafik Data Pasang Surut



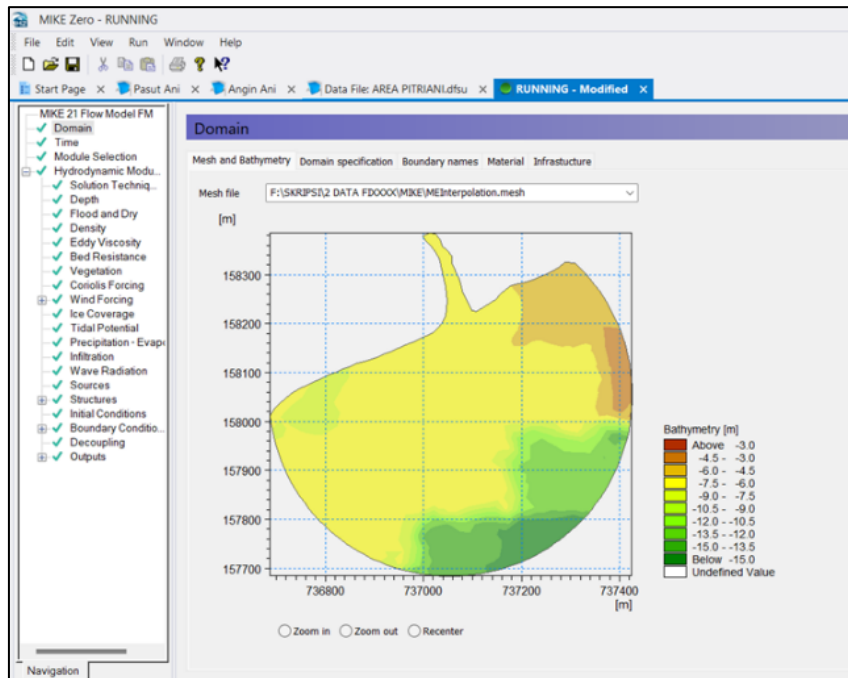
Gambar 8. Grafik Data Angin

3.3 Pemodelan Model MIKE 21

Model numerik arus pasang surut dalam penelitian ini dimodelkan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 Flexible Mesh (FM).

1. MIKE 21 > Mike 21 Flow Model (FM)
2. Input mesh pada Mesh Generator ke bagian Domain
3. Masukkan metadata Time:

- No. of Timesteps : 743
 Time Step interval :
 Simulation Start Date : 01/12/2024 00:00:00
 Simulation End Date : 31/12/2024 23:00:00
4. Input data angin dan data pasang surut
 5. Buat 2 output: Area dan Point
 6. Model siap untuk di running



Gambar 9. Model Mike 21 Running Data

3.4 Hasil Simulasi Pemodelan Arus Pasang Surut

3.4.1 Simulasi Arus Pasang Surut

Simulasi arus pasang surut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MIKE 21, yang memanfaatkan data garis pantai dan data batimetri sebagai komponen utama pembentuk model. Melalui proses simulasi ini, diperoleh informasi penting mengenai dinamika laut, khususnya perubahan elevasi permukaan air laut serta pola kecepatan dan arah arus yang terjadi selama periode tertentu.

Pada Gambar 10 terlihat bahwa pasang maksimum terjadi pada tanggal 16 Desember pukul 10.00, yaitu pada time step 370 dari total 473 time step. Arah arus dominan saat itu mengarah ke timur laut, timur dan tenggara, yang ditunjukkan oleh panah-panah kecil (vector) pada gambar.

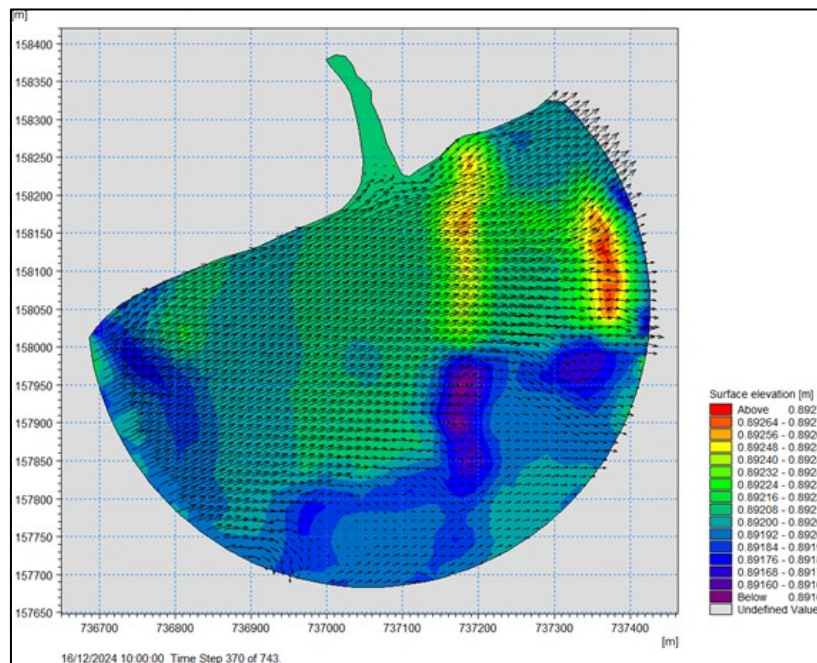
Sedangkan pada Gambar 11 menunjukkan kondisi surut terendah tercatat terjadi pada hari yang berbeda dengan pasang tertinggi, yakni pada tanggal 15 Desember pukul 16.00, tepatnya pada time step ke 352 dari total 743 time step. Arah arus dominan saat itu mengarah ke timur laut, timur dan tenggara, dapat dilihat dari panah panah kecil (vector) yang ada di gambar.

3.4.2 Kecepatan Arus Pasang Surut

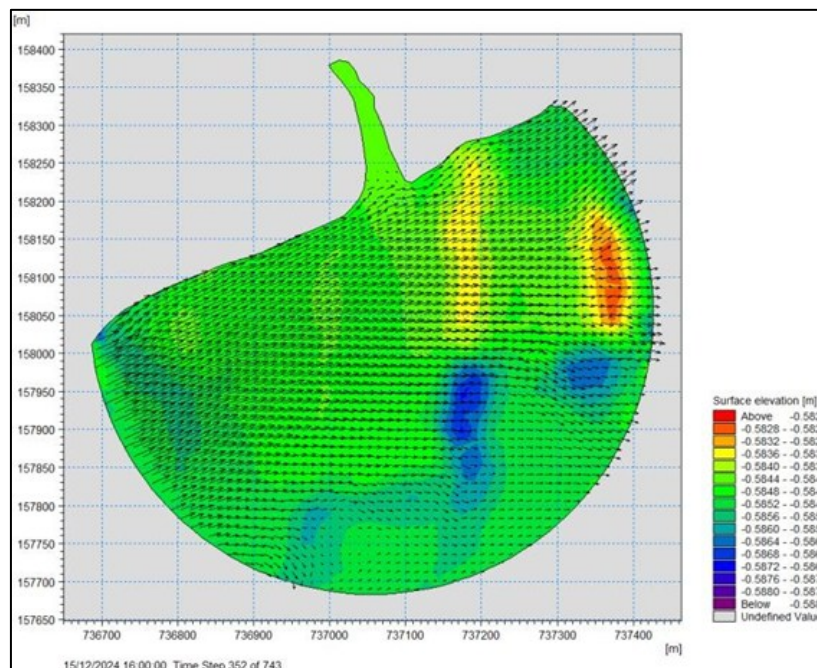
Hasil simulasi arus pasang surut menggunakan MIKE 21 menunjukkan bahwa fase transisi dari kondisi surut ke pasang terjadi antara pukul 07.00 hingga 09.00, dengan kecepatan arus berkisar antara 0.0588 hingga 0.0463 m/s.

Saat permukaan air bergerak dari pasang menuju surut, kecepatan arus cenderung mengalami penurunan, dengan rata-rata antara 0.588 hingga 0.0429 m/s. Arah arus umumnya mengalir dari barat laut menuju arah timur, yang terjadi antara pukul 13.00 hingga 15.00. Pada saat surut terendah, aliran air bergerak dari barat laut ke timur, dengan kecepatan yang hampir

sama , yaitu antara 0.1194 hingga 0.1229 m/s, dan berlangsung pada tanggal 15 pukul 16.00. Sementara itu, kondisi pasang tertinggi tercatat pada tanggal 16 sekitar pukul 10.00.

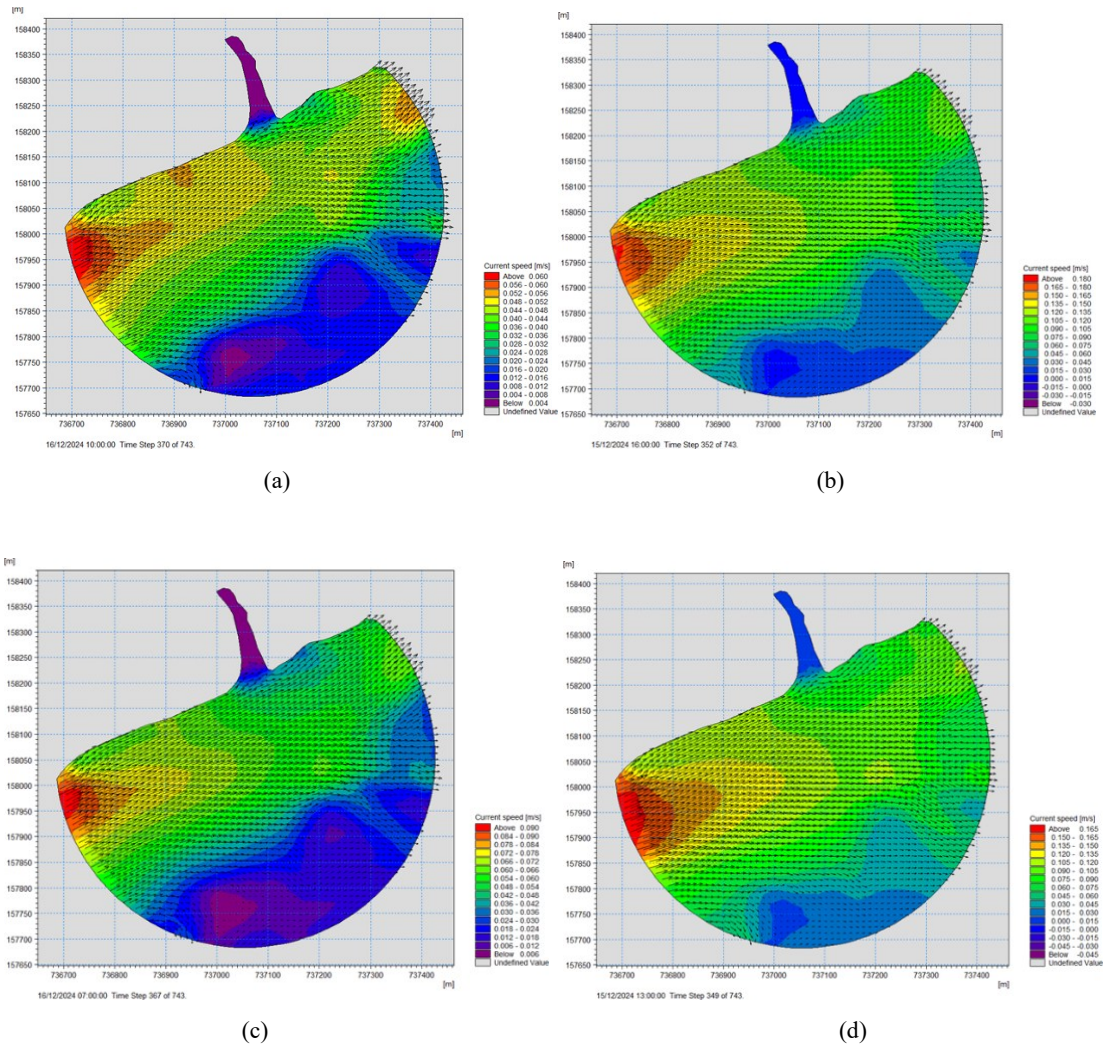


Gambar 10. Pasang Tertinggi



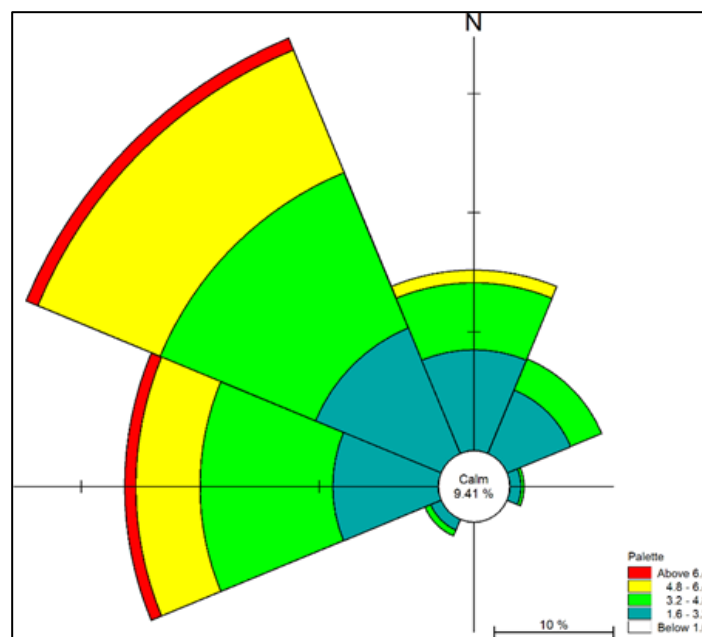
Gambar 11. Surut Terendah

Hasil pemodelan arus selama periode 1 hingga 30 Desember 2024 menunjukkan bahwa pola dan kecepatan arus mengalami perubahan yang cukup mencolok dari hari ke hari. Perbedaan ini terlihat jelas saat dianalisis pada kondisi pasang tertinggi dan surut terendah. Kecepatan arus saat pasang tertinggi tercatat sebesar 0.0429 m/s, sedangkan saat surut terendah mencapai 0.1059 m/s, dengan arah arus dominan mengarah ke timur. Kecepatan arus cenderung meningkat saat kondisi surut, yang terlihat dari perubahan arah vektor arus yang terbentuk. Visualisasi hasil pemodelan terkait pasang tertinggi, terendah dan arah dominan arus ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12. (a) Pola Pasang Tertinggi, (b) Pola Surut Terendah, (c) Pola Surut ke Pasang, (d) Pola Pasang ke Surut

3.4.3 Arah Angin



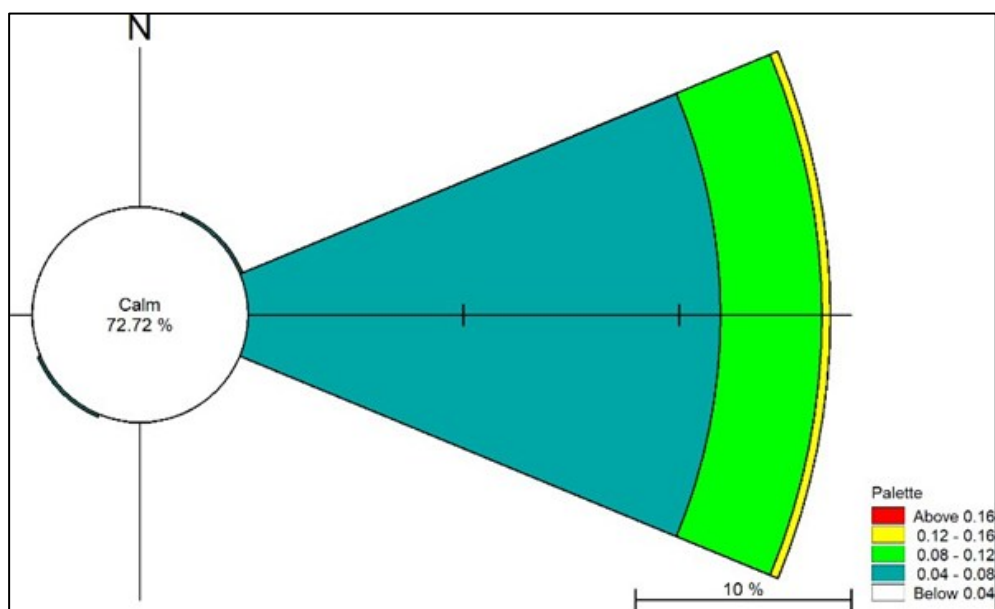
Gambar 13. Angin Dominan di Pantai Manembo-nembo

Berdasarkan hasil analisis klimatologi dan simulasi numerik yang ditampilkan pada gambar diatas, angin dominan di wilayah Pantai Manembo- nembo bertiup dari arah barat laut menuju ke tenggara. Selain itu, terdapat juga arah angin lain yang datang dari barat ke timur, utara ke selatan, timur laut ke barat daya, barat daya ke timur laut, dan timur ke barat. Pola angin ini berpengaruh terhadap arah arus permukaan, terutama ketika kecepatan angin cukup tinggi. Dalam kondisi tersebut, arus cenderung mengikuti arah angin atau menyimpang akibat pengaruh rotasi bumi (Efek Corolis), meskipun secara umum tetap dipengaruhi oleh dinamika pasang surut.

Hasil simulasi menggunakan MIKE 21 menunjukkan bahwa ketika angin barat laut mendominasi, arus pasang surut tidak sepenuhnya mengikuti pola bolak- balik yang khas. Sebaliknya arus cenderung lebih sering bergerak ke arah tenggara, menandakan adanya interaksi antara arus pasang surut dan arus yang dipengaruhi angin, yang menghasilkan pola aliran yang lebih kompleks pada lapisan permukaan laut.

3.4.4 Arah Arus Pasang Surut

Menjelang pasang dan saat pasang, arus pasang surut umumnya mengalir ke arah timur dan tenggara. Namun, ketika mulai surut hingga mencapai kondisi surut, arah arus pasang surut menjadi lebih bervariasi. Meskipun demikian, berdasarkan vektornya, aliran arus cenderung bergerak ke arah Timur dan Tenggara.



Gambar 14. Arah arus dominan di pantai Manembo-nembo

Berdasarkan analisis pola arah arus pada diagram current rose di atas, pergerakan arus pasang surut umumnya mengarah ke timur dan tenggara, sementara kecepatannya berada pada rentang 0.04 hingga 0.08 meter per detik. Namun, jika dibandingkan dengan karakteristik pasang surut, seharusnya arus pasang surut menunjukkan perubahan arah yang bersifat periodik dan berlawanan, mengikuti siklus pasang naik dan pasang surut yang lebih bergantian.

3.4.5 Elevasi Muka Air Laut

Gambar 12 menunjukkan kondisi elevasi permukaan laut pada empat tahapan berbeda, yaitu saat menjelang pasang pada 16 Desember pukul 07.00 WITA, saat pasang penuh pada pukul 10.00 WITA, fase peralihan menuju surut pada pukul 13.00 WITA, dan kondisi surut pada pukul 16.00 WITA. Ketinggian permukaan tertinggi tercatat saat fase pasang, yaitu sebesar 0.7931 meter, sementara ketinggian terendah terjadi saat surut dengan nilai -0.5496 meter.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan Berdasarkan hasil penelitian, perangkat lunak MIKE 21 menunjukkan kinerja yang baik dalam melakukan simulasi arus pasang surut dua dimensi (2D) di wilayah Pantai Manembo-nembo. Perangkat ini mampu mengolah data batimetri, pasang surut dan angin untuk menghasilkan simulasi arus laut yang akurat. Visualisasi hasil berupa arah dan kecepatan arus, serta elevasi muka air laut, membantu dalam memahami dinamika oseanografi wilayah pesisir secara spasial dan temporal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pola arus pasang surut di Pantai Manembo-nembo bersifat bolak-balik, mengikuti siklus pasang surut yang terjadi setiap hari. Rata-rata kecepatan arus tercatat sebesar 0.03 m/s, dengan kecepatan tertinggi mencapai 0.123 m/s. sementara itu, kecepatan terendah berada pada kisaran 0.0006 m/s.
2. Menurut data yang diperoleh dari NASA, tipe pasang surut di Pantai Manembo-nembo tergolong sebagai pasang surut harian ganda (*semi durnal tide*). Artinya, dalam satu hari umumnya terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, meskipun tinggi dan waktunya tidak selalu sama. Pola ini merupakan hasil gabungan antara komponen harian dan setengah harian, dimana komponen setengah harian lebih dominan, sehingga permukaan laut mengalami perubahan yang tidak teratur namun tetap mengikuti pola yang berulang.

4.2 Saran

Hasil simulasi dapat digunakan sebagai gambaran awal mengenai pemanfaatan model numerik MIKE 21 dalam simulasi arus pasang surut, serta menjadi acuan dalam perencanaan wilayah pesisir, seperti mitigasi banjir, pembangunan pantai dan pengelolaan tambak atau pelabuhan, serta mendukung kebijakan kelautan berbasis data.

Referensi

- Lumbanraja, B. J., Danial. M., Lestari, D. A., Meirany, M., & Supriyadi, A. (2023). Pemodelan Pola Arus Akibat Pergerakan Pasang Surut di Muara Sungai Kapuas Menggunakan Software MIKE 21. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 6(1), 735- 748.
- Mamoto, J. D. (2022). Studi Karakteristik Gelombang Pada Pantai Manembo- nembo Kecamatan Matuari Kota Bitung Provinsi Sulawesi Utara. *TEKNO*. 20(80), 131.
- Zahro, A. A., & W, Z. N. (2024). Analisis Tipe Pasang Surut Untuk Penentuan Elevasi Muka Air Laut di Perairan Semarang Menggunakan Metode Admiralty. *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 6(1), 7.
- Rahma, A. A., Adrianto., & Malik, K. (2022). Pemodelan Numerik Arus Pasang Surut 2D Menggunakan Software MIKE 21 (Study Kasus Selat Bangka). *Jurnal hidrografi Indonesia*, 4(2), 88-93.
- Agus, M. H. S., Putri, S. T., Aswad, N. H., & Agustan. (2025) Pemodelan Pergerakan Pasang Surut Di Pantai Watiginanda Kecamatan Sampolawa kabupaten Buton Selatan. *Journal Of Civil Engineering & Technology*, 1(1).
- Rompas, N. F., Jasin, M. I. & Tawas, H. J. (2022). Analisis Pasang Surut di Pantai Mahembang Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 10(1), 63-65.
- Pasomba', T., Jasin, M. I & Jansen, T. (2019). Analisis Pasang Surut pada Daerah Pantai Tobolobo Kelurahan Tobolobo Kota Ternate Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 7(11), 1517-1518
- Ramadhan, M. (2011). Komparasi Hasil Pengamatan Pasang Surut di Perairan Pulau Pramuka dan Kabupatenti dengan Prediksi Pasang surut Tide Model Drive. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Pesisir dan Laut. Jakarta
- Dinaryoko, A., Zakaria, A., & Tugiono, S. (2021). Analisis Perbandingan Data Pasang Surut Terukur dengan Data Pasang Surut Hasil Peramalan (Studi Kasus Stasiun Pasut Tanjung Priok). *JRSDD*, 9(1), 134.
- Hamuna, B., Tanjung, R., Kalor, J., Dimara, L., Indrayani, E., Warpur, M., Paulangan, Y., & Paiki, K. (2018). Studi Karakteristik Pasang Surut Perairan Laut Mimika, Provinsi Papua. *Jurnal Acropora Ilmu Kelautan Dan Perikanan Papua*, 1(1), 19–28.
- Nahdliyah, H., Baharuddin., & dewi, I. P. (2019). Pemodelan Sirkulasi Arus Pasang Surut di Perairan Teluk Balikpapan Provinsi Kalimantan Timur Menggunakan MIKE 21 Flow Model FM. *Jurnal Kelautan*, 2(2).
- DHI. (2007). *MIKE 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation*. DHI Water & Environment

- DHI. (2017). *MIKE 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation*. DHI Water & Environment
- Permadi, L. C., Indrayanti, E., & Rochaddi, B. (2015). Studi Arus Pada Perairan Laut di Sekitar Pltu Sumuradem Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*, 4(2), 516–523.
- Hardhiyanti WF, Kurniadi YN, Mustikasari E, Noviadi Y. 2018. Pola Hidrodinamika di Perairan Nunukan Sebagai Usulan Pada Permasalahan Abrasi Pulau-pulau Kecil. *Institut Teknologi Nasional*. Vol 4(2): 58 – 69