



Pemodelan Numerik Arus Pasang Surut Di Pantai Ranoyapo Amurang Minahasa Selatan

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

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

^anazwayohan021@student.unsrat.ac.id, ^barthur.thambas@unsrat.ac.id, ^cmuhammad.jasin@unsrat.ac.id,

^dtorry@unsrat.ac.id, ^ejeffrymamoto@gmail.com, ^fcindyjeanesupit@unsrat.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola arus pasang surut di Pantai Ranoyapo menggunakan pemodelan numerik dua dimensi (2D) dengan perangkat lunak MIKE 21. Pemodelan dilakukan dengan memanfaatkan data pasang surut, angin, dan batimetri yang diperoleh dari instansi resmi, guna menggambarkan dinamika hidrodinamika perairan pesisir secara spasial dan temporal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pola arus bergerak bolak-balik mengikuti siklus pasang surut, dengan kecepatan rata-rata arus sebesar 0,02 m/s. Kecepatan maksimum tercatat sebesar 0,0638 m/s, sementara kecepatan minimum mencapai 0,000608 m/s. Selain itu, berdasarkan analisis data pasang surut dari NASA, Pantai Ranoyapo dikategorikan memiliki tipe pasang surut harian ganda (semi-diurnal), yang ditandai dengan dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari, meskipun dengan amplitudo dan waktu yang tidak selalu seragam. Hasil dari pemodelan ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam perencanaan wilayah pesisir, mitigasi banjir rob, serta pengelolaan kawasan perikanan dan pelabuhan secara berkelanjutan.

Kata kunci: arus pasang surut, MIKE 21, pemodelan numerik, Pantai Ranoyapo, semi-diurnal

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Wilayah pesisir merupakan ekosistem yang dinamis, dipengaruhi oleh interaksi proses daratan dan lautan yang berlangsung terus-menerus. Arus pasang surut menjadi salah satu komponen penting dalam dinamika perairan, berperan dalam transportasi sedimen, distribusi nutrien, dan kestabilan morfologi pantai. Faktor ini juga berpengaruh terhadap aktivitas manusia, seperti perikanan, navigasi, dan pembangunan infrastruktur pesisir. Pantai Ranoyapo di Amurang, Minahasa Selatan, merupakan wilayah pesisir yang memiliki potensi sumber daya perairan namun juga rentan terhadap bencana pesisir, seperti banjir rob dan abrasi. Pemodelan numerik menggunakan MIKE 21 memberikan alternatif efektif untuk menganalisis pola arus secara detail, tanpa memerlukan pengamatan lapangan yang terus-menerus. Dengan pendekatan ini, pola arus dapat dipetakan secara spasial dan temporal, sehingga hasilnya dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa ada beberapa format permasalahan, yaitu:

1. Bagaimana kemampuan perangkat lunak Mike 21 dalam memodelkan arus pasang surut secara dua dimensi (2D) serta bagaimana pola dan karakteristik kecepatan arus di Pantai Ranoyapo?

2. Jenis pasang surut apa yang terjadi di Pantai Ranoyapo berdasarkan data pasang surut dari NASA?

1.3. *Batasan Masalah*

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada:

1. Pemodelan arus pasang surut dilakukan hanya di wilayah perairan Pantai Ranoyapo, Amurang, Minahasa Selatan.
2. Pemodelan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 Flexible Mesh dengan masukan berupa data pasang surut, data angin, dan batimetri.
3. Analisis difokuskan pada pola dan karakteristik kecepatan arus pasang surut yang dihasilkan model, tanpa membahas faktor lain seperti kualitas air, gelombang, maupun interaksi ekosistem.
4. Periode data yang digunakan adalah 1–31 Desember 2024.

1.4. *Tujuan Penelitian*

Untuk menganalisis kemampuan perangkat lunak MIKE 21 dalam memodelkan arus pasang surut secara dua dimensi (2D) di Pantai Ranoyapo, Amurang, Minahasa Selatan, serta mengevaluasi pola dan karakteristik kecepatan arus pasang surut berdasarkan hasil simulasi.

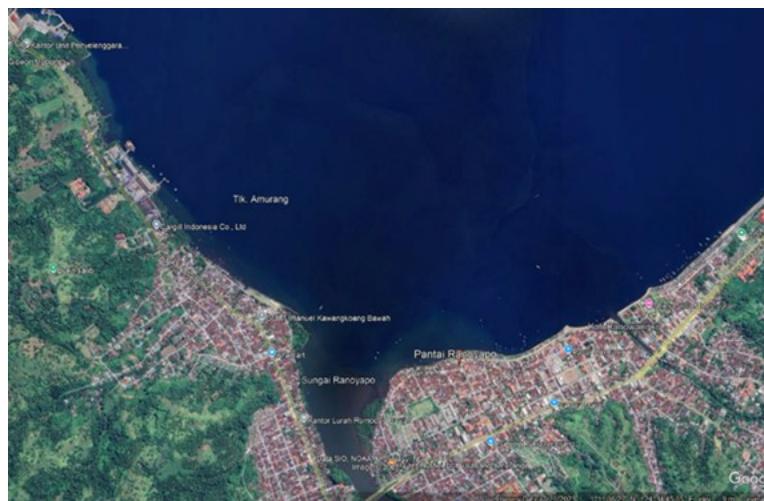
1.5. *Manfaat Penelitian*

Untuk memperoleh informasi mengenai pola arus pasang surut di Pantai Ranoyapo yang dapat digunakan sebagai referensi dalam perencanaan pengelolaan wilayah pesisir, mendukung mitigasi bencana pesisir, dan menjadi acuan bagi penelitian sejenis yang memanfaatkan pemodelan numerik hidrodinamika.

2. Metode Penelitian

2.1. *Lokasi Penelitian*

Penelitian ini dilakukan di Pantai Ranoyapo, Kecamatan Amurang, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara. Pantai ini memiliki garis pantai yang bervariasi dan topografi dasar laut yang memengaruhi pergerakan arus.



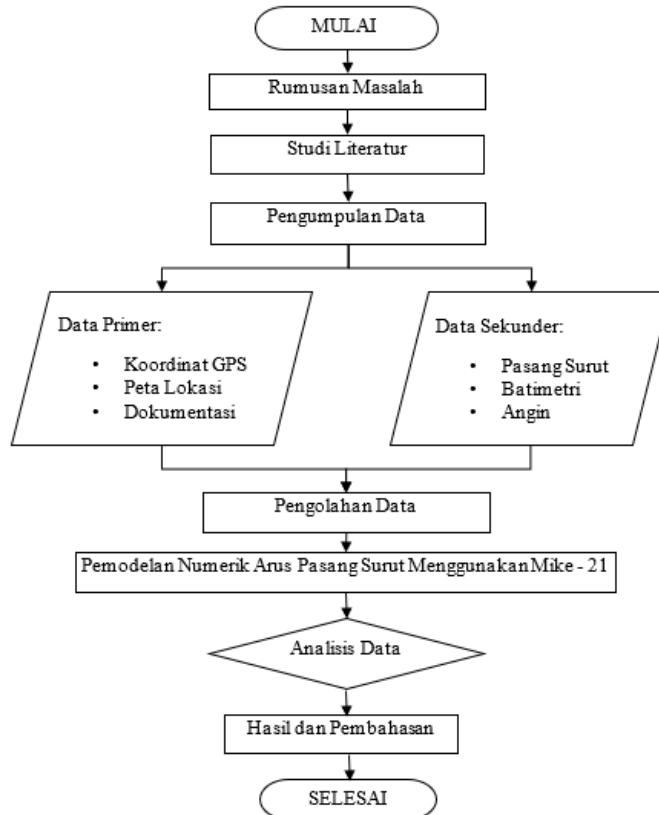
Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth)

2.2. *Pengumpulan Data*

Pengumpulan data ini dilaksanakan dengan cara mengunjungi website resmi dari pihak terlibat sebagai sumber data yang akan digunakan pada studi ini, ataupun dengan menggunakan software-software penunjang. Data-data yang dimaksud meliputi:

- Data pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG) periode 1–31 Desember 2024, interval 1 jam;
- Data angin dari NASA untuk periode yang sama;
- Data batimetri dari BATNAS (Badan Informasi Geospasial Nasional)

2.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

2.4. Bahan dan Alat Perlengkapan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa :

1. MIKE 21 yang merupakan perangkat lunak utama yang dimanfaatkan dalam pemodelan arus, mulai dari penyusunan data MIKE hingga pembuatan model arus dan visualisasi pola pergerakan arus.
2. Microsoft Excel untuk pengolahan data batimetri dan angin
3. Goggle Earth Pro perangkat lunak untuk pembuatan garis pantai dan peta lokasi
4. Arcgis 10.8 dimanfaatkan dalam proses digitalisasi kedalaman dan garis pantai pada peta, yang menghasilkan data koordinat XY serta XYZ
5. Notepad digunakan sebagai media untuk memasukkan data ke dalam proses penyusunan data MIKE

2.5 Metode Pemodelan Numerik

Pemodelan numerik pada penelitian ini menggunakan software *MIKE – 21* yang merupakan perangkat lunak yang digunakan dalam berbagai aplikasi pemodelan, seperti pemodelan arus, pasang surut, gelombang, serta parameter lainnya. Software ini berfungsi untuk memprediksi parameter yang akan diukur dengan membangun model hidrodinamika dan fenomena terkait di lingkungan seperti sungai, danau, estuari, teluk, pantai, dan laut, sesuai dengan kebutuhan pembuatan model (Pasaribu *et al.*, 2023), itulah mengapa model numerik adalah metode yang paling efisien untuk mensimulasikan dan memahami kondisi hidrodinamika laut (Fattah *et al.*, 2018). Penerapan pemodelan numerik dalam pemodelan arus di Pantai Ranoyapo dilakukan melalui perangkat lunak Mike 21. Prosedur untuk memodelkan arus pasang

surut meliputi langkah – langkah berikut:

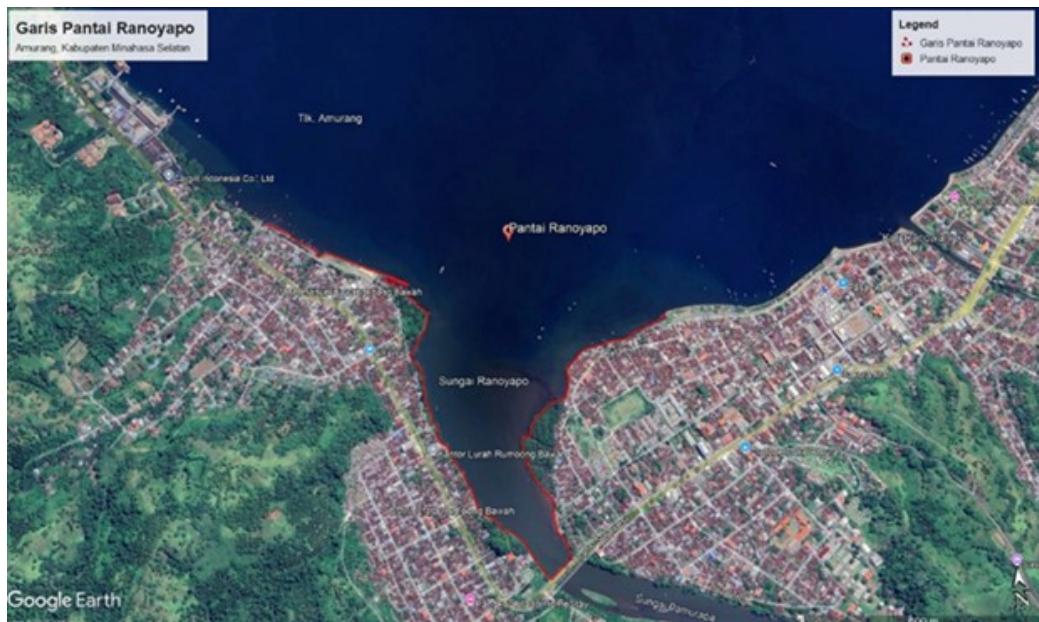
1. Pengumpulan Data, data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data pasang surut, data batimetri dan data angin yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG), Batnas, dan NASA.
2. Input Data, data yang dimasukkan meliputi data pasang surut, data batimetri, serta data angin yang digunakan sebagai input dalam proses pemodelan
3. Pembuatan Grid, proses pembuatan grid dalam mesh bertujuan untuk menampilkan koordinat pada layer meshing, yang kemudian digunakan untuk memasukkan data boundary garis pantai dan batimetri.
4. Set Up Model, proses set up model menghasilkan meshing yang berbentuk file untuk domain model, serta memasukkan data angin dan pasang surut yang akan diproses menggunakan perangkat lunak Mike 21
5. Running Model, pada tahap running model menggunakan Mike 21, dilakukan simulasi untuk memperoleh hasil arus pasang surut di Pantai Ranoyapo
6. Hasil Model, tahap ini menghasilkan peta atau gambar yang menggambarkan pemodelan arus di Pantai Ranoyapo

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengolahan Data

3.1.1 Pembuatan Garis Pantai menggunakan Google Earth Pro

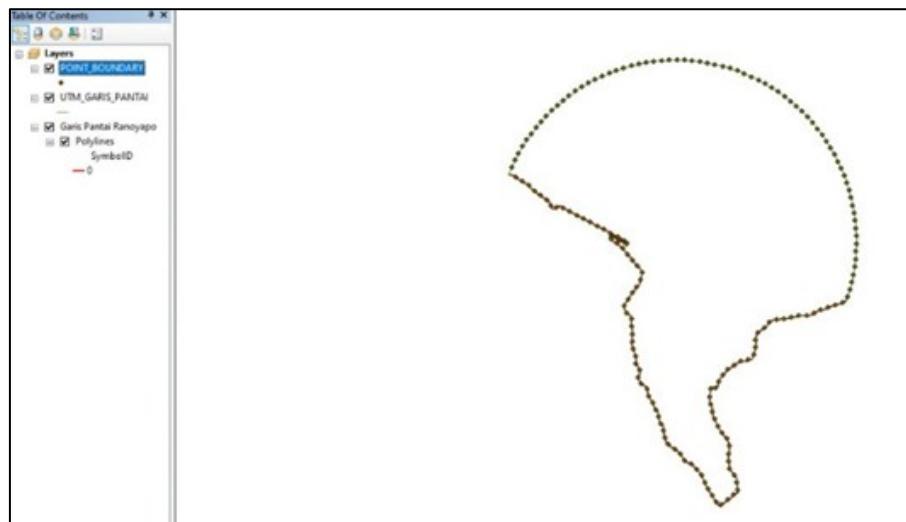
Garis pantai Pantai Ranoyapo pada penelitian ini diperoleh melalui digitalisasi manual menggunakan Google Earth Pro, yaitu dengan membuka citra resolusi tinggi, menelusuri batas darat dan laut menggunakan fitur Add Path, kemudian menyimpan hasil digitasi dalam format .kml untuk digunakan pada tahap pemodelan.



Gambar 3. Peta Garis Pantai Ranoyapo

3.1.2 Pembuatan Boundary Domain di ArcGIS

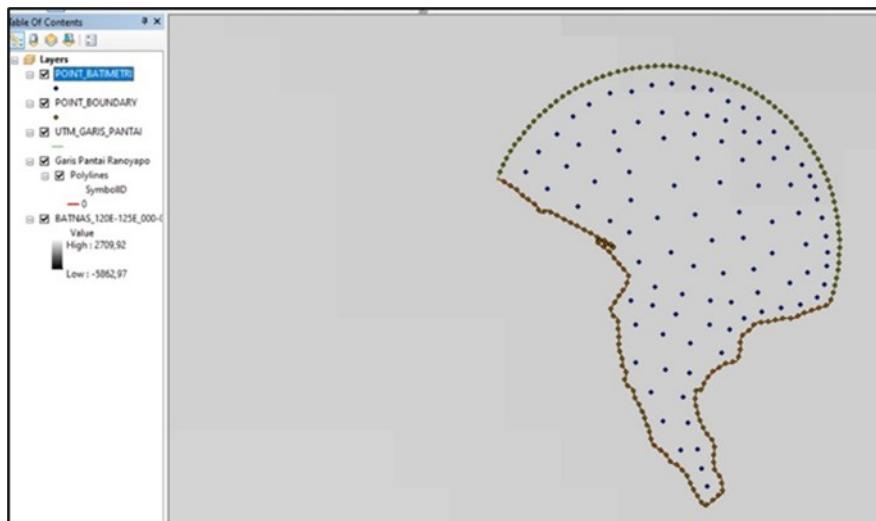
Boundary domain model pada penelitian ini dibuat di ArcGIS dengan menggunakan garis pantai hasil digitalisasi sebagai sisi darat dan menambahkan batas laut terbuka secara manual. Selanjutnya, sisi darat dan laut digabung menjadi poligon tertutup, kemudian disimpan dalam format .shp. Data boundary tersebut diberi koordinat XY, dikonversi ke .xls, lalu ditambahkan nilai Z = 0. Setelah itu, file disimpan dalam format .txt (Tab Delimited) dan akhirnya dikonversi menjadi .xyz agar dapat digunakan dalam MIKE 21.



Gambar 4. Point Boundary

3.1.3 Pengolahan Data Batimetri di ArcGIS

Data batimetri diperoleh dari BATNAS dan diolah menggunakan ArcGIS dengan memastikan proyeksi sama dengan boundary (UTM Zona 51N, WGS 84). Kontur batimetri diubah menjadi titik menggunakan *Feature to Point* dan *Multi Point*, kemudian diekspor ke Excel dalam format X, Y, Z dengan kedalaman laut sebagai nilai Z. Selanjutnya, data disimpan dalam format .xyz agar dapat digunakan dalam MIKE 21.

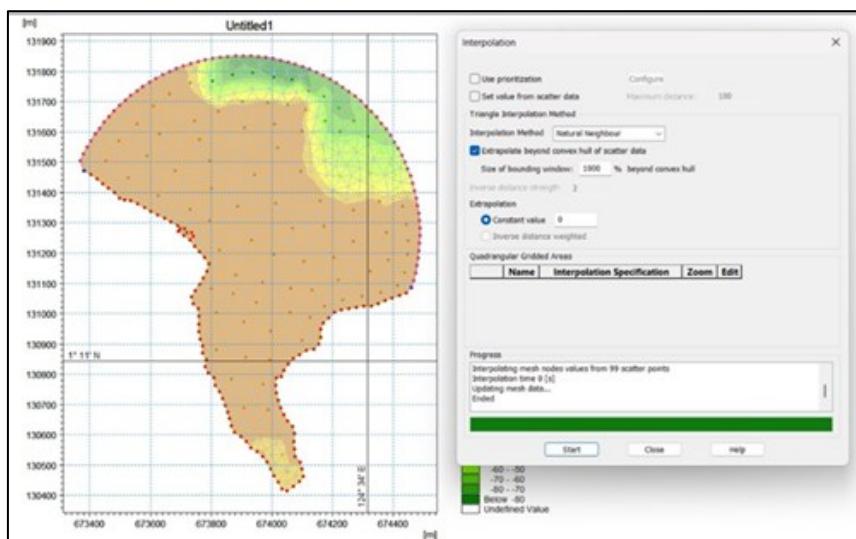


Gambar 5. Point Batimetri

3.2 Penginputan Data Model MIKE Zero

3.2.1 Pembuatan Mesh Domain

Proses pembuatan mesh dilakukan di MIKE Zero menggunakan Mesh Generator dengan mengimpor boundary dan data batimetri hasil pengolahan ArcGIS dalam format .xyz, kemudian menghubungkan data XYZ ke domain mesh dan melakukan interpolasi kedalaman ke seluruh elemen. File hasil mesh disimpan dalam format .dfs. Pada tahap ini sempat terjadi error saat menginput boundary dari ArcGIS, sehingga penulis membuat ulang garis pantai secara lebih detail di Google Earth Pro dan membangun kembali boundary di ArcGIS.

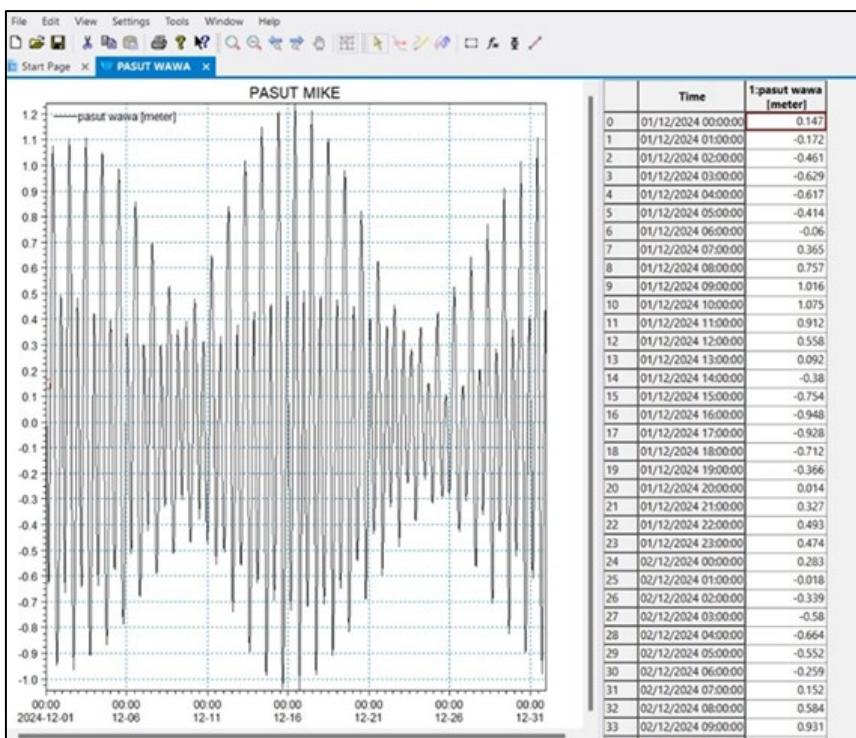


Gambar 6. Mesh Domain

3.2.2 Penginputan Time Series

1. Data Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) selama 31 hari pada Desember 2024. Data ini diinput ke MIKE Zero melalui *Time Series Editor* dengan pengaturan *Axis Type* menggunakan *Equidistant calendar axis*, waktu mulai 01 Desember 2024 pukul 00:00, *time step* 1 jam, dan jumlah *timestep* 743. Selanjutnya, data pasang surut per jam diimpor dari Excel dengan memilih parameter *water level* (satuan meter), kemudian disimpan dalam format **.dfsu**.

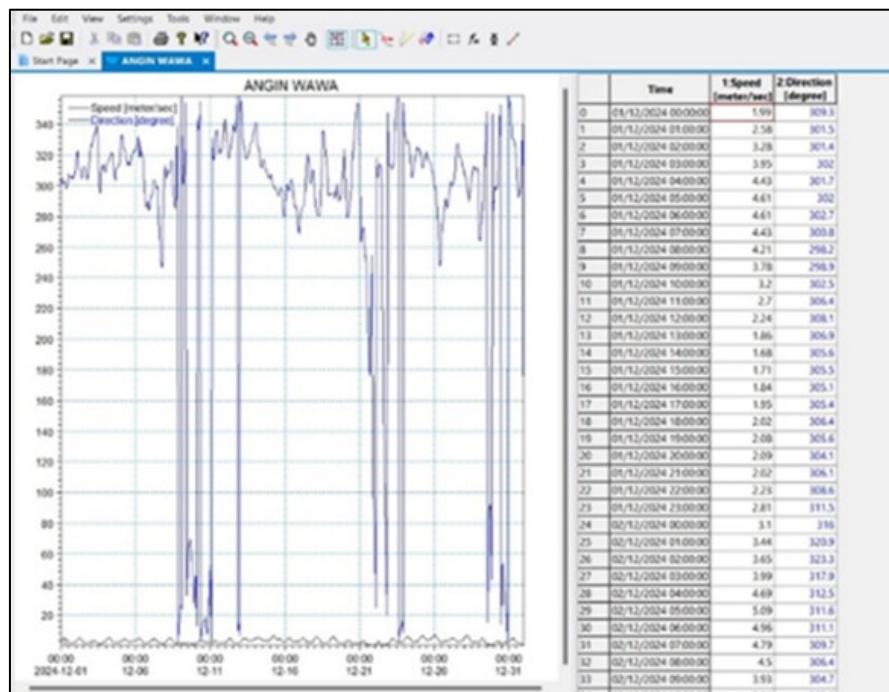


Gambar 7. Grafik Data Pasang Surut

2. Data Angin

Data angin diperoleh dari NASA selama 31 hari pada November 2024 agar selaras dengan data pasang surut. Data ini dimasukkan ke MIKE Zero melalui *Time Series Editor* dengan *Axis Type* menggunakan *Equidistant calendar axis*, waktu mulai 01 Desember 2024 pukul 00:00, *time step* 1 jam, dan jumlah *timestep* 743. Dua item ditambahkan, yaitu *Wind Velocity* (m/s)

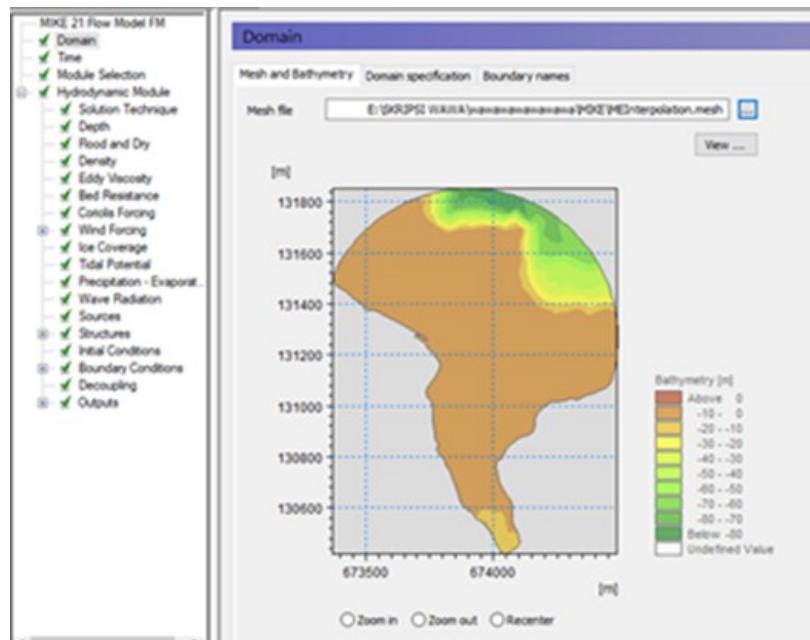
dan *Wind Direction* ($^{\circ}$), kemudian data per jam diimpor dari Excel dan disimpan dalam format **.dfsu**.



Gambar 8. Grafik Data Angin

3.3 Penginputan Model Mike 21

Pemodelan arus pasang surut dilakukan menggunakan MIKE 21 Flexible Mesh (FM) dengan memasukkan mesh hasil *Mesh Generator*. Simulasi dijalankan selama 31 hari (743 timestep) dengan input data angin sebagai *wind forcing* dan data pasang surut sebagai *boundary condition*. Output model berupa area dan titik, kemudian hasilnya siap dianalisis.



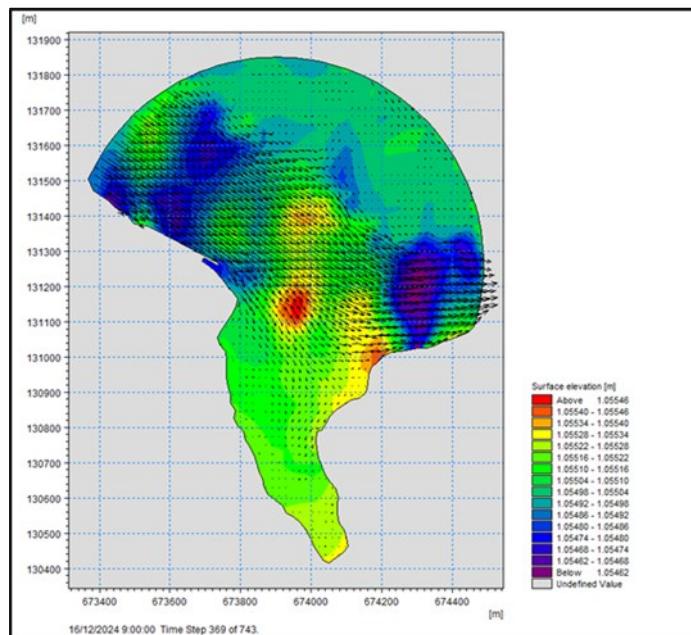
Gambar 9. Model Mike 21 Running Data

3.4 Simulasi Arus Pasang Surut

Arus laut adalah pergerakan massa air yang berlangsung terus-menerus, baik secara vertikal

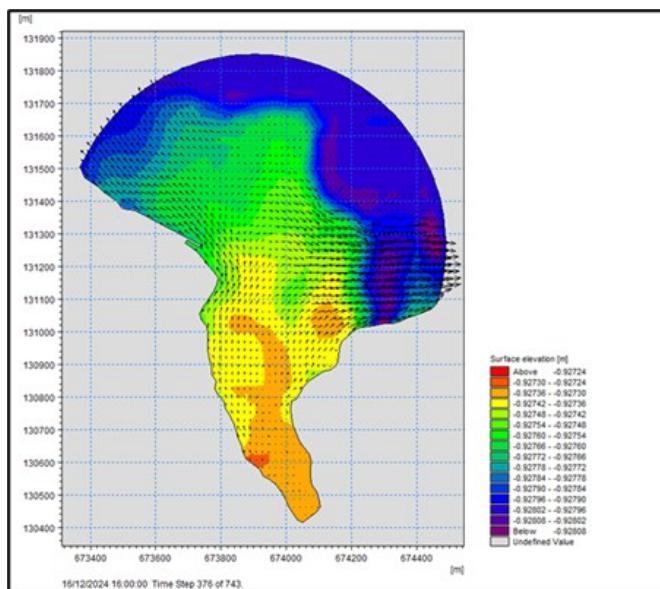
maupun horizontal, yang menyebabkan gangguan atau perubahan pada lapisan udara di sekitarnya (Widarbowo, 2018). Arus pasang surut merupakan arus laut yang arah pergerakannya berubah secara berkala akibat dari fenomena naik turunnya permukaan air laut.

Simulasi pasang surut dilakukan menggunakan perangkat lunak Mike 21 dengan memanfaatkan data garis pantai dan batimetri. Dari hasil simulasi ini, diperoleh informasi mengenai elevasi permukaan laut serta kecepatan dan arah arus laut.



Gambar 10. Pasang Tertinggi

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa pasang tertinggi terjadi pada tanggal 16 Desember pukul 09.00 dengan 369 dari 743 time step dengan arah arus dominan ke arah tenggara yang ditunjukkan dengan panah – panah kecil pada gambar.



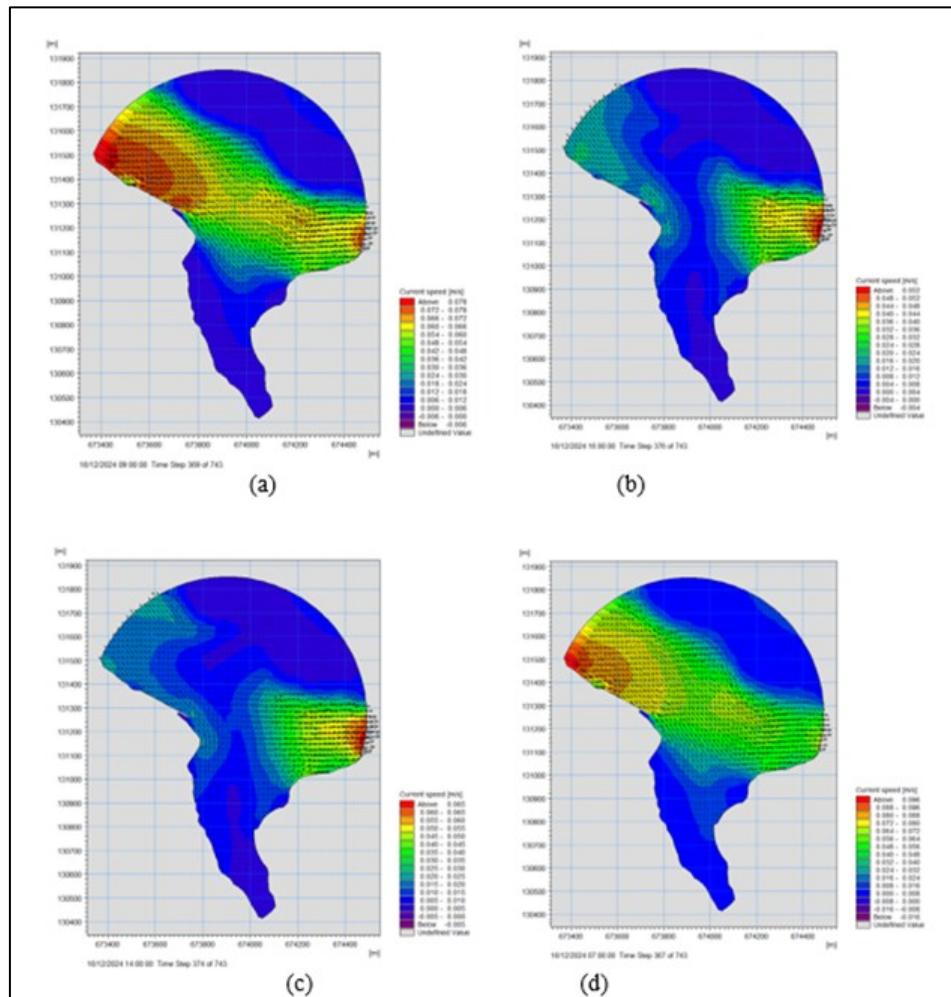
Gambar 11. Pasang Terendah

Gambar pada surut terendah diketahui berada pada hari yang sama dengan hari terjadinya pasang tertinggi pada 16 Desember pukul 16.00, dengan time step 376 dari 743 time step. Ditunjukkan dengan panah – panah kecil pada gambar arah arus dominan ke arah tenggara dan timur

3.5 Kecepatan Arus Pasang Surut

Berdasarkan hasil simulasi model arus pasang surut menggunakan Mike 21, kondisi transisi dari surut ke pasang terjadi pada pukul 07.00 hingga 09.00, dengan kecepatan arus berkisar 0.050 hingga 0.038 m/s., di mana arah pergerakan mengalir dari arah barat laut menuju arah tenggara.

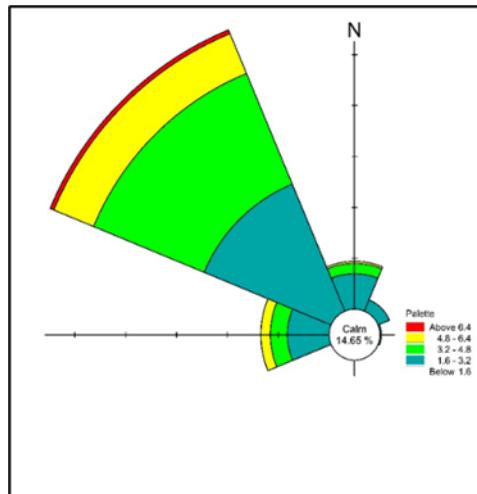
Ketika permukaan air bergerak dari kondisi pasang menuju surut, kecepatan arus cenderung menurun, dengan rata-rata antara 0.0089 hingga 0.0082 m/s. Arah pergerakan arus umumnya mengalir dari barat laut menuju arah tenggara, yang terjadi antara pukul 13.00 hingga 15.00. Pada kondisi surut terendah, arus mengalir dari arah barat laut ke arah tenggara dengan kecepatan serupa, yakni 0.013 m/s, yang terjadi pada tanggal 16 pukul 16.00. Sementara itu kondisi pasang tertinggi tercatat pada tanggal yang sama sekitar pukul 09.00.



Gambar 12. (a) Pola Pasang tertinggi, (b) Pola Surut Terendah,
(c) Pola Pasang menuju Surut, (d). Pola Surut menuju Pasang

Pada gambar di atas pola serta kecepatan arus yang diperoleh dari hasil pemodelan arus selama periode 1 hingga 30 Desember 2024 menunjukkan variasi yang cukup signifikan dari hari ke hari, khususnya saat dilakukan identifikasi terhadap nilai dan arah arus pada kondisi pasang tertinggi dan surut terendah. Dari hasil pemodelan kecepatan arus saat pasang tertinggi bernilai 0.038 dan surut terendah bernilai 0.013 dengan arah dominan arus mengarah ke arah tenggara. Kecepatan arus cenderung meningkat saat kondisi surut tertinggi, yang terlihat dari perubahan arah pada vektor arus yang terbentuk.

3.6 Arah Angin



Gambar 13. Angin Dominan di Pantai Ranoyapo

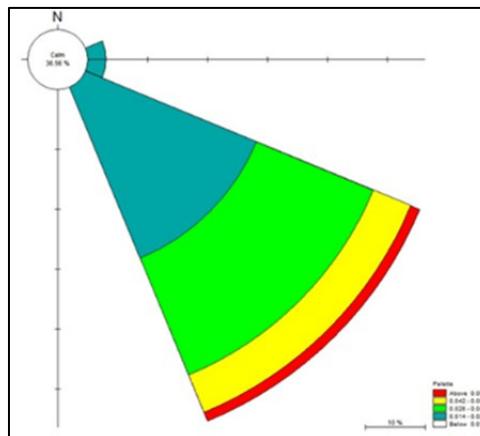
Hasil analisis klimatologi dan simulasi numerik pada gambar di atas menunjukkan bahwa angin dominan di wilayah Pantai Ranoyapo bertiup dari barat laut menuju tenggara dan ada juga sedikit arah angin yang terjadi dari arah barat ke timur, utara ke selatan dan sedikit dari arah timur laut ke arah barat daya. Arah angin ini memengaruhi pola arus permukaan, terutama saat kecepatan angin tinggi. Dalam kondisi tersebut, arus cenderung mengarah sejalan dengan angin atau mengalami deviasi karena pengaruh rotasi bumi (Efek Coriolis), meskipun tetap dikendalikan oleh mekanisme pasang surut.

Simulasi dengan MIKE 21 menunjukkan bahwa saat dominasi angin barat laut, arus pasut tidak sepenuhnya mengikuti pola bolak-balik khas pasang surut. Sebaliknya, arus lebih sering mengarah ke tenggara, mengindikasikan adanya kombinasi antara arus pasut dan arus akibat angin yang membentuk pola aliran yang lebih kompleks di lapisan permukaan laut.

3.7 Arah Arus Pasang Surut

Pada saat menjelang pasang dan saat pasang, arus pasang surut umumnya mengalir ke arah Timur dan Tenggara. Sementara itu, ketika air mulai surut hingga mencapai kondisi surut, arah arus pasut menjadi lebih bervariasi, namun berdasarkan arah vektornya, aliran cenderung menuju barat laut dan arah timur.

Yanagi (1999) mengemukakan bahwa salah satu pola pergerakan arus pasang surut adalah gerakan rotasional, yang di perairan laut lepas membentuk lintasan elips. Arah rotasi ini searah jarum jam di wilayah Belahan Bumi Utara, sedangkan di Belahan Bumi Selatan berputar berlawanan arah jarum jam.

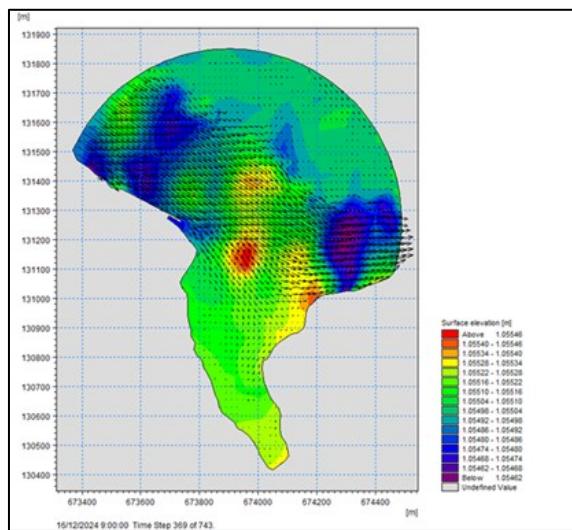


Gambar 14. Arah arus dominan di Pantai Ranoyapo

Berdasarkan analisis pola arah arus pada diagram *current rose* di atas, pergerakan arus pasang surut umumnya mengarah ke Tenggara dengan tingkat kejadian sekitar 80%, serta kecepatan dominan berada pada rentang 0,028 hingga 0,042 meter per detik. Namun, jika dikaitkan dengan karakteristik pasang surut, idealnya arus pasut memperlihatkan arah yang berubah secara periodik dan berlawanan, mengikuti siklus pasang naik dan pasang surut yang terjadi secara bergantian.

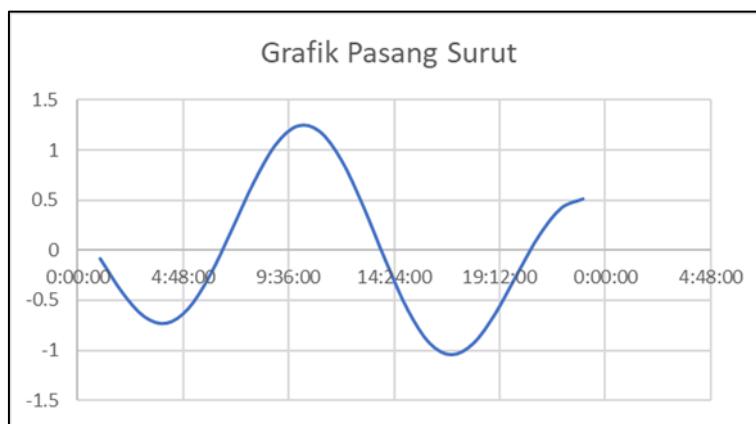
3.8 Elevasi Muka Air Laut

Pada gambar 12 memperlihatkan kondisi elevasi permukaan laut pada empat fase berbeda, yaitu saat fase menuju pasang pada 16 Desember pukul 07.00 WITA, saat pasang pada pukul 09.00 WITA, saat transisi menuju surut pada pukul 14.00 WITA, serta kondisi surut pada pukul 16.00 WITA, serta Ketinggian maksimum permukaan laut tercatat saat pasang, yakni sebesar 1.241 meter, sedangkan ketinggian minimum terjadi saat surut dengan nilai -1.045 meter.



Gambar 15. Elevasi Muka Air Laut

3.9 Tipe Pasang Surut



Gambar 16. Grafik Pasang Surut

Gambar di atas menunjukkan bahwa dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan amplitudo yang bervariasi menjadikan wilayah Pantai Ranoyapo mengalami tipe Pasang Surut Harian Ganda (Semi Diurnal) dengan ketinggian dan periode yang tidak seragam. Temuan ini sejalan dengan penelitian Janny Polii (2012) di Teluk Amurang yang juga menunjukkan pola pasang surut semi-diurnal. Namun, Polii mencatat bahwa faktor lokal seperti arus sungai, angin, dan gelombang turut memengaruhi variasi pola tersebut, menjadikannya dinamika di Teluk Amurang lebih kompleks dibandingkan Pantai Ranoyapo. Kesamaan pola ini

menunjukkan bahwa wilayah pesisir Sulawesi Utara umumnya didominasi pasang surut semi-diurnal, meski faktor lokal tetap penting dalam kajian oseanografi dan pengelolaan pesisir.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

1. Perangkat lunak Mike 21 terbukti mampu memodelkan arus pasang surut secara 2D dengan baik, serta menghasilkan visualiasi dan informasi spasial yang bermanfaat untuk analisis oseanografi, pengelolaan wilayah pesisir, dan perencanaan kelautan berkelanjutan dengan menghasilkan pola arus menunjukkan pergerakan bolak-balik sesuai fase pasang surut, dengan kecepatan rata-rata arus sebesar 0.02 m/s. Kecepatan maksimum tercatat sebesar 0.0638 m/s, sementara kecepatan minimum berada pada nilai 0.000608 m/s.
2. Berdasarkan data yang diperoleh dari NASA, tipe pasang surut di wilayah Pantai Ranoyapo termasuk dalam kategori pasang surut harian ganda (Semi-Diurnal). Hal ini menunjukkan bahwa dalam satu hari umumnya terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, namun dengan tinggi dan waktu yang tidak selalu sama. Jenis pasang surut ini merupakan hasil perpaduan antara komponen harian dan setengah harian, dengan dominasi setengah harian yang menyebabkan fluktuasi permukaan air laut berlangsung secara tidak teratur namun tetap berulang dalam pola tertentu.

4.2 Saran

Pada penelitian mendatang, pemodelan arus disarankan untuk mempertimbangkan lebih banyak faktor hidrologi dan oseanografi, seperti aliran dari muara sungai, curah hujan, suhu permukaan laut, serta kondisi gelombang. Keterlibatan variabel-variabel tersebut akan membantu menghasilkan simulasi yang lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya di lapangan. Dengan demikian, pola arus yang diperoleh tidak hanya menggambarkan pengaruh pasang surut, tetapi juga mencerminkan dinamika perairan akibat interaksi antara laut dan daratan. Hasil yang lebih mendekati kenyataan ini akan sangat berguna untuk analisis risiko banjir rob, prediksi pergerakan sedimen, dan perencanaan infrastruktur pesisir yang berkelanjutan.

Referensi

- Banget, J. M. L., M M Danial., Arfena, D. L., Jasisca, M., Asep, S. (2023). Pemodelan Pola Arus Akibat Pergerakan Pasang Surut Di Muara Sungai Kapuas Menggunakan *Software Mike 21*
- Fadillah, Suripin, Sasongko, D. P. (2014). Menentukan Tipe Pasang Surut dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty. *Maspuri Journal: Marine Science Research*, 6(11), 1-12
- Fattah, A. H., Suntoyo, Damerianne, H. A., & Wahyudi. (2018). Hydrodynamic and Sediment Transport Modelling of Suralaya Coastal Area, Cilegon, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 135, 1-9.
- Godin, G. (2017). *The Analysis of Tides*. University of Toronto Press.
- Hilyatun, N., Baharuddin., & Ira, P. D. (2019). Pemodelan Sirkulasi Arus Pasang Surut Di Perairan Teluk Balikpapan Provinsi Kalimantan Timur Menggunakan *Mike 21 Flow Model FM*. *Mcsij – Jurnal Kelautan*. Vol. 2, No 2 Tahun 2019
- Kasim, M. R. S. (2020). Pemodelan Arus Dan Gelombang Di Muara Sungai Jenebereng Dengan Aplikasi Mike-21. Program Sarjana Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Kisnarti, E.A., Prasita, V.D., (2019). Pemodelan Hidrodinamika Muara Sungai Studi Kasus : Muara Sungai Prong Sidiyoro, Hang Tuah. Press, Surabaya.
- Liu, P., et al. (2016). Numerical simulation of tidal hydrodynamics in estuarine environments: a review. *Coastal Engineering*, 117, 67-81.
- Nathania, F. R., Muhammad, I. J., & Hansje, J. T. (2022). Analisis Pasang Surut Di Pantai Mahembang Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 10, No 1, Tahun 2022
- Pasaribu, R., et al. (2024). Numerical modeling of tidal currents in Jakarta Bay using MIKE 21. *Journal of Coastal Research*, 40(2), 234-249.
- Pasaribu, R. P., Anasri Tanjung, Ramadhan, R. & Handayani, R. (2023). Pemodelan Parameter Salinitas Menggunakan Software Mike-21 Di Perairan Pangandaran *Modelling Of Salinity Parameters Using*

- Mike-21 Software*. Aurelia Journal, 5(4), 55-66
- Permadi, L. C., Indrayanti, E., & Rochanddi, B. (2015). Studi Arus Pada Perairan Laut Di Sekitar Pltu Sumuradem Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*, 4(2), 516-523.
- Putra, I. I., Sukmono, A., & Wijaya, A. P. (2017). Analisis Pola Sebaran Area Upwelling Menggunakan Parameter Suhu Permukaan Laut, Klorofil-A, Angin Dan Arus Secara Temporal Tahun 2003-2016 (Studi Kasus : Laut Banda). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 157-168
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/18140>
- Rahma, F., et al. (2024). Simulation of tidal currents in Bangka Strait with MIKE 21 flexible mesh. *Ocean Engineering*, 250, 110590.
- Radjawane, A., & Saputro, H. (2018). Tidal harmonic analysis and numerical simulation in Bangka Belitung waters. *Marine Science Journal*, 12(1), 45-58.
- Sachoemar, S. (2008). Pengaruh Spring dan Neap Tide terhadap Kecepatan Arus Pasang Surut. *Jurnal Oseanografi*, 7(1), 17-28.
- Suharyo, O. S., & Adrianto, D. (2018). Studi Hasil Running Model Arus Permukaan Dengan Software Numerik Mike 21/3 (Guna Penentuan Lokasi Penempatan Stasiun Energi Arus Selat Lombok – Nusapenida). *Applied Technology and Computing Science Journal*, 1(1), 30-33
- Sutanto, B., & Hidayat, D. (2022). Effects of Meteorological Factors on Coastal Currents in North Sulawesi. *Indonesian Journal of Marine Science*, 27(3), 320-335.
- Yanagi, T. (1999). The rotational movement of tidal currents in open sea areas. *Journal of Oceanography*, 55(3), 245-254.