

ANALISIS ARUS DI MUARA SUNGAI SARIO MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MIKE ZERO TIPE MIKE 21 FLOW MODEL FM

Yosua Aditya Ratu¹, Tiny Mananoma², Arthur Harris Thambas³

^{1,2,3} Program Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi

e-mail: ¹yosua.aditya.ratu@gmail.com, ²tmananoma@yahoo.com,

³arthur.thambas@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Arus terjadi ketika air bergerak dari satu lokasi ke lokasi lain, yang dipicu oleh dorongan angin di permukaan laut atau sungai, perbedaan densitas, debit aliran dan pasang surut. Informasi tentang arus memiliki manfaat yang sangat penting, antara lain untuk mendukung kegiatan budidaya perairan, menjadi pertimbangan dalam perencanaan pembangunan pelabuhan, sebagai bahan analisis dalam aktivitas dan operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), serta sebagai dasar dalam penentuan kebijakan yang berkaitan dengan kelautan. Pemodelan hidrodinamika secara numerik dengan bantuan perangkat lunak sangat berguna untuk memahami dinamika muara yang terjadi mengingat kondisi batas yang tidak beraturan serta kedalaman yang bervariasi. Dari hasil pemodelan selama tahun 2023 menggunakan perangkat lunak Mike Zero tipe Mike 21 modul hidrodinamika didapat kecepatan arus terbesar ada di tanggal 28 Juni 2023 dengan nilai kecepatan arus 0,006817148 m/det, dan kecepatan arus terkecil ada di tanggal 2 Oktober 2023 dengan nilai kecepatan arus 0,000115678 m/det. Dari hasil pemodelan juga terlihat bahwa selama tahun 2023 arus dominan mengarah ke arah barat laut.

Kata kunci: Arus; Sario; Mike Zero

ABSTRACT

Currents occur when water moves from one location to another, triggered by wind pressure on the surface of the sea or river, differences in density, flow rates, and tides. Information about currents is of great importance, including for supporting aquaculture activities, considering port development planning, serving as analysis material for the operations of Steam Power Plants (SPP), and as a basis for determining policies related to marine affairs. Numerical hydrodynamic modeling using software is highly useful for understanding estuary dynamics, given the irregular boundary conditions and varying depths. From the modeling results in 2023 using Mike Zero software type Mike 21 hydrodynamic module, the highest current velocity was recorded on June 28, 2023, with a current velocity value of 0.006817148 m/s, and the lowest current velocity was on October 2, 2023, with a value of 0.000115678 m/s. The modeling results also show that during 2023, the dominant current flowed toward the northwest.

Keywords: Current; Sario; Mike Zero

PENDAHULUAN

Manado adalah ibu kota Provinsi Sulawesi Utara, dengan luas 157,26 km² (BPS Kota Manado, 2023). Sebagai pusat pemerintahan Provinsi Sulawesi Utara, kota Manado memiliki topografi yang berbeda. Kota ini memiliki bentang alam yang unik karena memiliki pantai, daratan, dan perbukitan yang berdekatan. Selain itu, lima sungai besar—Sario, Sungai Malalayang, Sungai Bailang, Sungai Sawangan, yang menyatu dengan Sungai Tondano di daerah Paal Dua, dan Sungai Tondano, yang bermuara di Teluk Manado yang melengkapi sistem hidrologi Manado (Warouw dkk, 2018). Sungai Sario memiliki hulu di gunung Mahawu, yang membelah kota Manado (Tombakan dan Takaendengan, 2021).

Arus merupakan Pergerakan massa air secara vertikal dan horizontal membentuk gerakan yang luas dan seimbang di seluruh perairan dunia (Husain dan Widianingrum, 2020). Ketika air bergerak dari satu tempat ke tempat lain karena pasang surut, variasi densitas, debit aliran, dan angin di permukaan sungai atau laut, disebut arus. Gerakan massa air ini diukur dengan kecepatan aliran dan biasanya diwakili dalam satuan meter per detik (Lumbanraja dkk, 2023; Stokes dkk, 2024; Tezar dkk, 2023). Memanfaatkan data arus dapat membantu budidaya perairan, menjadi pertimbangan dalam perencanaan pembangunan pelabuhan, menjadi bahan analisis dalam aktivitas dan operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dan menjadi dasar dalam penentuan kebijakan kelautan (Hiwari dan Subiyanto, 2020). Mengingat kondisi batas dan kedalaman yang tidak beraturan, pemodelan hidrodinamika numerik sangat membantu dalam memahami dinamika muara (Martyr-Koller dkk, 2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dinamika arus yang terjadi di daerah muara sungai Sario kota Manado. Hasil dari penelitian ini diharapkan memberi gambaran dinamika arus sungai Sario dengan metode pemodelan numerik dan dapat menjadi dasar pertimbangan pemeliharaan dan pengembangan di daerah muara sungai Sario.

KAJIAN TEORI

Arus

Ketika air bergerak dari satu tempat ke tempat lain karena pasang surut, variasi densitas, debit aliran, dan angin di permukaan sungai atau laut, disebut arus. Gerakan massa air ini diukur dengan kecepatan aliran dan biasanya diwakili dalam satuan meter per detik (Lumbanraja dkk, 2023; Stokes dkk, 2024; Tezar dkk, 2023). Karena faktor laut dan sungai memengaruhi arus, arus di muara sungai sering kali lebih kompleks dibandingkan dengan arus biasa (Panchenko dkk, 2024). Arus balik dapat terjadi di muara sungai, terutama di muara yang dipengaruhi oleh pasang surut dan aliran sungai. Ini dapat menyebabkan perubahan besar dalam sifat sedimen dan ekosistem (Valle-Levinson dkk, 2019).

Manfaat penting dari data arus termasuk membantu budidaya perairan, menjadi komponen pertimbangan dalam perencanaan pembangunan pelabuhan, dan membantu menganalisis aktivitas dan operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), serta sebagai dasar untuk pengembangan kebijakan kelautan (Hiwari dan Subiyanto, 2020).

Untuk mengelola dan menganalisis kondisi suatu perairan, dinamika arus sangat penting karena sangat memengaruhi distribusi unsur hara, padatan tersuspensi, dan parameter fisika dan kimia di dalam perairan.

Pasang Surut

Gaya tarik menarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan, terhadap massa air di Bumi menyebabkan pasang surut, yang merupakan fenomena naik turunnya permukaan air laut. Meskipun bulan jauh lebih kecil daripada matahari, gaya tarik bulan terhadap pasang surut bahkan 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari. Gaya gravitasi sendiri berbanding lurus dengan massa benda tetapi berbanding terbalik dengan jaraknya. Kombinasi gaya gravitasi dan efek sentrifugal menyebabkan fenomena pasang surut ini. Karena bulan lebih dekat ke bumi, gaya gravitasinya memengaruhi pasang surut dua kali lipat dari matahari, meskipun bulan lebih kecil dari matahari (Siebert, 1961). Metode perhitungan pasang surut sangat bergantung pada tujuan pengamatan. Dua metode umum untuk menghitung pasang surut adalah metode konvensional, yang menggunakan nilai rata-rata dari seluruh data pengamatan untuk menentukan permukaan air laut rata-rata (MLR), dan metode Admiralty, yang menghitung konstanta-konstanta pasang surut untuk memperoleh sembilan komponen utama pasang surut: komponen semi-diurnal (S2, M2, K2, N2), diurnal (O1, K1, P1), dan perairan dangkal (Pasaribu dkk, 2022).

Kenaikan dan penurunan muka air yang disebabkan oleh gaya tarik gravitasi antara bumi, matahari, dan bulan dikenal sebagai pasang surut. Arus pasang surut secara teratur berubah arah dan kecepatan karena gerakan air horizontal. Proses hidrodinamik, transportasi sedimen, dan kualitas air di estuari dan perairan pesisir dipengaruhi oleh pasang surut dan sirkulasi. Ini terjadi ketika pasang tinggi di mulut estuari dan pasang rendah terjadi ketika lereng air permukaan mendorong air ke dalam estuary (Ji, 2008). Gaya tarik gravitasi bulan dan matahari menyebabkan pasang surut. Hukum Gravitasi Newton menyatakan bahwa gaya tarik gravitasi antara dua benda adalah sebanding dengan hasil massa kedua benda dibagi dengan kuadrat jarak di antara keduanya, kecuali dua hal tersebut:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

F menggambarkan gaya gravitasi, r adalah jarak antara pusat massa dua benda, m_1 dan m_2 masing-masing adalah massa benda pertama dan kedua, sedangkan G adalah konstanta gravitasi ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$). Bulan adalah benda langit terdekat dengan Bumi dan memengaruhi pasang surut paling banyak. Gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh rotasi Bumi juga memengaruhi fenomena ini. Pola pasang surut di laut lepas diatur oleh kombinasi kedua gaya ini. Di bagian Bumi yang menghadap Bulan, gaya gravitasinya lebih kuat karena jaraknya lebih dekat, dan di bagian yang berlawanan, gaya gravitasinya lebih lemah karena jaraknya lebih jauh. Gaya gravitasi yang lebih kuat di sisi yang menghadap Bulan dan gaya gravitasi yang lebih lemah di sisi yang berlawanan menciptakan pasang tinggi di kedua sisi (Ji, 2017).

Secara umum, pasang surut dibagi menjadi empat kategori. Pertama, pasang surut harian ganda, juga dikenal sebagai pasang surut semi-harian, terjadi dua kali dalam satu hari, masing-masing dengan ketinggian yang sama dan berlangsung secara berurutan. Rentang nilainya berkisar antara 0 dan 0,25. Kedua, Pasang Surut Harian Tunggal (diurnal tide) dengan nilai F lebih dari 3, yang berarti hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari. Ketiga, Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Ganda (mixed tide prevailing semi-diurnal) dengan rentang nilai 0,25 hingga 1,5, yang berarti terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari, tetapi dengan ketinggian dan waktu yang berbeda. Keempat, Pasang Surut Campuran Condong ke Harian T (Sepang dkk, 2024).

Pemodelan Metode Numerik

Dengan menyederhanakan skenario dunia nyata menjadi model yang dapat dianalisis, pemodelan matematika bertujuan untuk meningkatkan pemahaman system (Singh, 2024). Pemodelan muara sungai menggunakan model numerik untuk simulasi aliran air dan transportasi sedimen. Model ini membantu memahami bagaimana variabel sungai dan laut, seperti pasang surut dan aliran sungai, mempengaruhi dinamika muara (Sandbach dkk, 2018). Dalam pemodelan matematika, metode numerik adalah alat penting yang memungkinkan penyelesaian masalah yang tidak dapat diselesaikan secara analitik. Teknik ini mencakup berbagai pendekatan, termasuk analisis numerik (Khoury & Harder, 2016). Untuk memahami dinamika hidrodinamika di muara sungai, pemodelan numerik adalah alat penting. Simulasi aliran air yang kompleks, yang dipengaruhi oleh interaksi antara komponen sungai dan laut, dapat dilakukan dengan teknik ini. Untuk mensimulasikan aliran permukaan bebas di muara, model elemen hingga dua dimensi (2D) sering digunakan. Model ini mempertimbangkan batas aliran alami dan menggunakan elemen segitiga enam node, serta skema Euler implisit untuk diskretisasi ruang dan waktu (Heniche dkk, 2000).

Perangkat Lunak Mike 21 Flow Model FM

Perangkat lunak rekayasa profesional seperti MIKE 21 memiliki sistem pemodelan yang sangat lengkap. Program komputer ini digunakan untuk menganalisis dan menentukan aliran permukaan bebas dalam dua dimensi (2D) (Ratu dkk, 2024). MIKE 21 adalah sistem pemodelan mikro berbasis komputer yang dirancang untuk memodelkan arus, permukaan air, gelombang, sedimen, transportasi polutan, dan kualitas air. MIKE 21 memiliki banyak modul yang membuatnya paket yang ideal untuk insinyur pesisir dan lingkungan. MIKE 21 dirancang untuk digunakan oleh insinyur dan staf teknis dengan latar belakang hidrolika, teknik pesisir, atau ilmu lingkungan, yaitu profesional yang bekerja di tingkat teknologi tinggi. Modul untuk adveksi-dispersi, gelombang pendek, transpor sedimen, kualitas air, eutrofikasi, dan transpor logam berat memungkinkan pengguna untuk mempelajari banyak masalah yang telah menjadi masalah penting dan sensitif dalam masyarakat kita (Warren dan Bach, 1992). MIKE 21 memiliki banyak dokumen yang dapat kita buat, salah satunya adalah Flow Model (FM). Model FM adalah sistem pemodelan baru yang komprehensif yang dikembangkan oleh DHI Water and Environment untuk pemodelan air dua dimensi (2D) dan tiga dimensi

(3D). Model 2D ini memiliki nama yang serupa dengan model klasik DHI, MIKE 21, tetapi ada tambahan FM yang merujuk pada jenis kisi-kisi model yang digunakan.

Aplikasi kompleks di oseanografi, pesisir, dan muara adalah tujuan dari sistem pemodelan ini. Namun, sebagai sistem pemodelan umum untuk aliran permukaan bebas 2D, sistem ini juga dapat digunakan untuk studi air permukaan di daratan, seperti pemodelan banjir di daratan, danau, atau waduk (DHI, 2013).

METODE PENELITIAN

Dalam analisis ini, metode kuantitatif digunakan untuk menganalisis arus di muara sungai Sario. Perangkat lunak Mike Zero Tipe Mike 21 Flow Model FM digunakan, dan data yang digunakan adalah data sekunder. Menurut data yang dikumpulkan, angin dan pasang surut diambil dari BMKG Maritim Bitung, debit diambil dari BWSS 1, dan data batimetri diambil dari Sistem Informasi Batimetri Nasional. Angin tahun 2023 didominasi oleh angin yang mengarah ke timur laut. Pasang surut di daerah muara sungai Sario adalah jenis pasang surut ganda setiap hari (Kappers dkk, 2024).

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa:

1. Laptop Processor Intel(R) Core (TM) i5 - 10300H CPU @ 2.50GHz 2. RAM 16.0 GB
2. Perangkat lunak Mike Zero 2025

Jalannya Penelitian

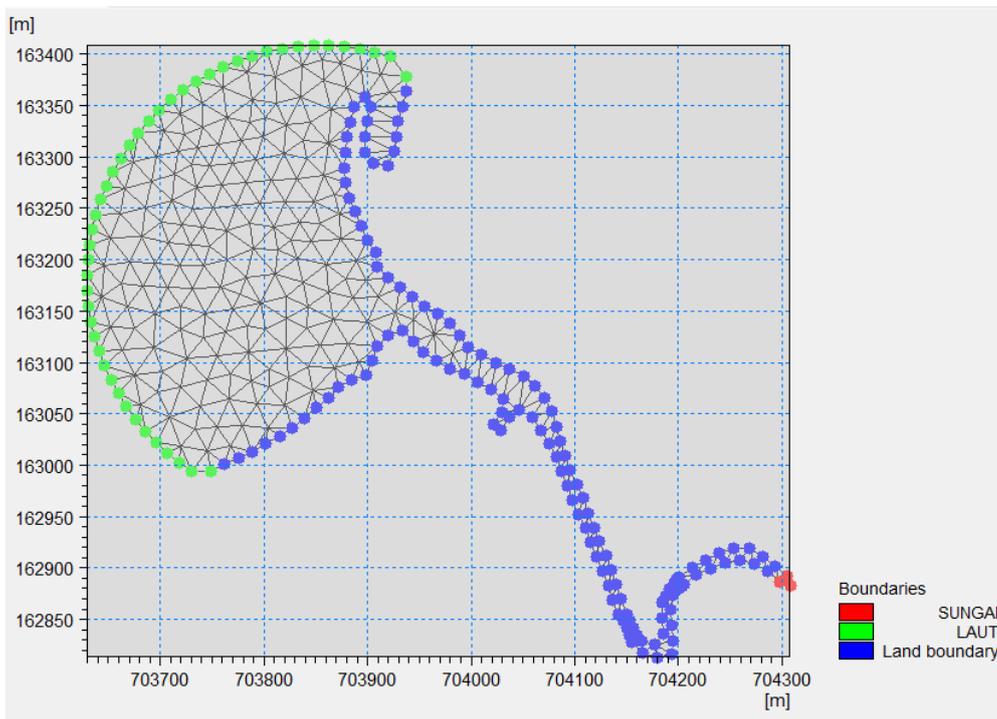
Data sekunder digunakan dalam penelitian ini. Terlebih dahulu, data batimetri yang diunduh dari halaman website Sistem Informasi Batimetri Nasional harus diolah menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.8 menjadi data darat dan laut dalam format.xyz setelah data garis pantai yang dibuat pada perangkat lunak Google Earth Pro diolah menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.8."xyz" Pemodelan dilakukan pada perangkat lunak Mike Zero Tipe Mike 21 Flow Model FM dengan menggunakan Mesh Generator yang sudah ada.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Di muara sungai Sario, dinamika arus dimodelkan menggunakan modul hidrodinamika tipe MIKE 21 Flow Model FM, yang merupakan model hidrodinamika dua dimensi berbasis metode elemen hingga (DHI, 2013). MIKE 21 adalah sistem pemodelan yang lengkap yang digunakan untuk simulasi hidrodinamika dan fenomena di muara, perairan pesisir, dan laut (Warren dan Bach, 1992). Model hidrodinamika ini digunakan untuk memodelkan arus yang terjadi dan ditunjukkan oleh vektor hasil pemodelan.

Data batimetri yang diunduh dari halaman website Sistem Informasi Batimetri Nasional terlebih dahulu harus diolah terlebih dahulu menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.8 menjadi data darat dan laut dengan format .xyz. Selanjutnya dilakukan

pemodelan dengan menggunakan *Mesh Generator* yang ada pada perangkat lunak *Mike Zero*. Parameter yang dimasukkan pada modul hidrodinamika yang ada di *Mike Zero Flow Model FM* akan menghasilkan output berupa kecepatan dan arah arus yang terjadi di muara sungai Sario. Parameter yang digunakan merupakan parameter selama tahun 2023. Parameter pemodelan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Dalam pemodelan juga menggunakan tiga kondisi batas yaitu daerah laut, daerah sungai dan daerah daratan yang dapat dilihat pada Gambar 1 serta data angin yang dimasukkan dalam parameter yang ada dan dapat dilihat pada Gambar 2.

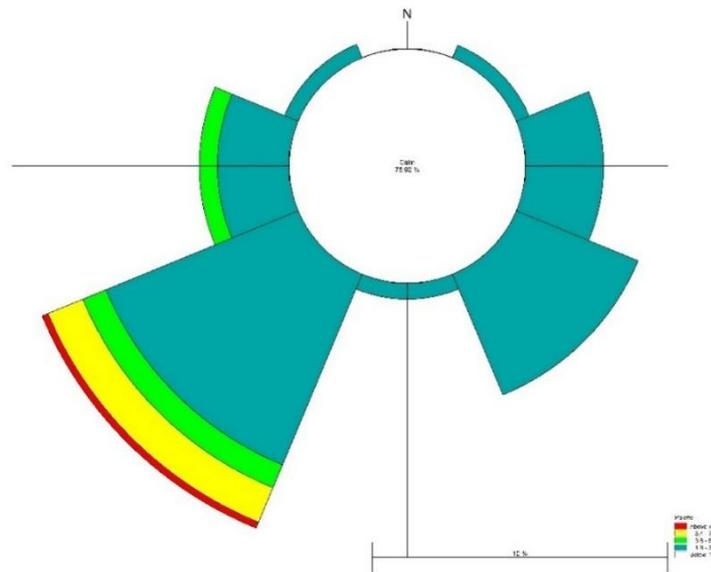


Gambar 1. Kondisi Batas yang Digunakan di Muara Sungai Sario
Sumber : Hasil Pemodelan Mesh Generator Mike Zero

Dari hasil pemodelan selama tahun 2023 menggunakan perangkat lunak Mike Zero tipe Mike 21 modul hidrodinamika didapat kecepatan arus terbesar ada di tanggal 28 Juni 2023 dengan nilai kecepatan arus 0,006817148 m/det, dan kecepatan arus terkecil ada di tanggal 2 Oktober 2023 dengan nilai kecepatan arus 0,000115678 m/det. Dari hasil pemodelan juga terlihat bahwa selama tahun 2023 arus dominan mengarah ke arah barat laut, penelitian ini selaras dengan penelitian terdahulu dimana arah arus di perairan sario relatif mengarah ke barat daya, barat dan barat laut (Narahawarin dkk, 2013). Time series dan mawar arus hasil pemodelan selama tahun 2023 dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

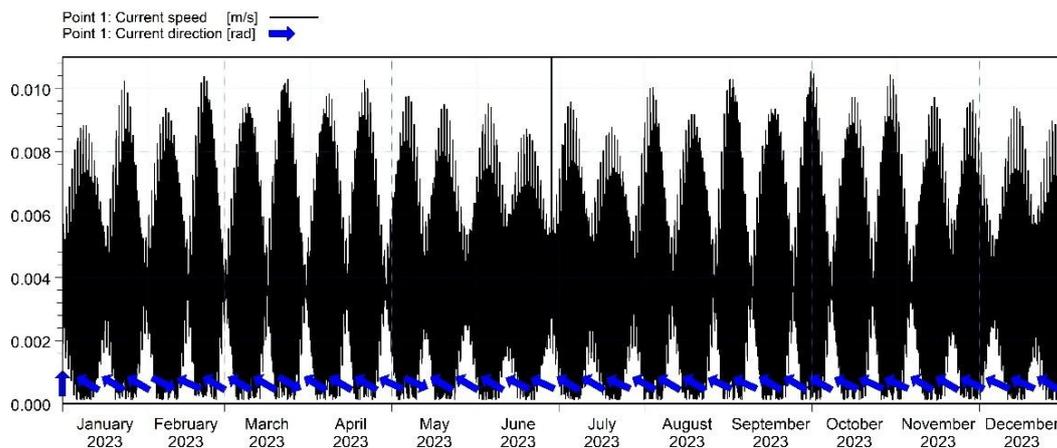
Tabel 1. Parameter Pemodelan Arus di Muara Sungai Sario Tahun 2023

No.	Keterangan	Nilai
1.	<i>No. Of Time Step</i>	8759
2.	<i>Time Step Interval</i>	3600
3.	<i>Simulation Start Date</i>	1/01/2023
4.	Simulation End Date	12/31/2023
4.	Input Simulasi	Hasil <i>Mesh</i> , data angin tahun 2023, data pasang surut tahun 2023, data debit tahun 2023.



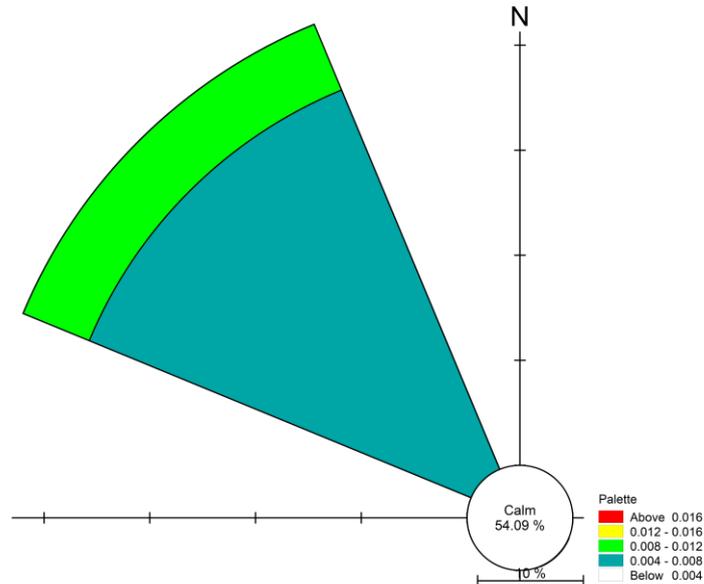
Gambar 2. Mawar Angin Tahun 2023

Sumber : Stasiun Meteorologi Maritim Bitung dan Mike Zero Plot Composer



Gambar 3. Time Series Hasil Pemodelan Arus di Muara Sungai Sario Tahun 2023

Sumber : Mike Zero Plot Composer



Gambar 4. Mawar Arus Hasil Pemodelan Arus di Muara Sungai Sario Tahun 2023
Sumber : Mike Zero Plot Composer

KESIMPULAN

Berdasarkan data yang didapat untuk angin tahun 2023 didominasi oleh angin yang mengarah ke arah timur laut. Pasang surut di daerah muara sungai Sario merupakan tipe pasang surut harian ganda. Hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak Mike Zero tipe Mike 21 modul hidrodinamika di muara sungai Sario menunjukkan bahwa interaksi antara debit sungai dan pasang surut memengaruhi pola arus. Di tahun 2023 kecepatan arus tertinggi ada pada tanggal 28 Juni 2023 dengan kecepatan arus tertinggi adalah 0,006817148 m/s, dan kecepatan arus terkecil ada pada tanggal 2 Oktober 2023, dengan nilai kecepatan arus terkecil adalah 0,000115678 m/s. Selama tahun 2023, arus utama mengarah ke barat laut.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS Kota Manado. (2023). *KOTA MANADO DALAM ANGKA 2023*. 250.
- DHI. (2013). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic Module*. 14.
- Heniche, M., Secretan, Y., Boudreau, P., & Leclerc, M. (2000). A two-dimensional finite element drying-wetting shallow water model for rivers and estuaries. *Advances in Water Resources*, 23(4), 359–372. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(99\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(99)00031-7)
- Hiwari, H., & Subiyanto. (2020). Pemodelan Arus Permukaan Laut Lembeh, Sulawesi Utara Menggunakan Aplikasi Mike 21. *Jurnal Akuatek*, 2(1), 84–93.
- Husain, F., & Widianingrum, W. (2020). Pemanfaatan Energi Arus Laut Pada Teluk Awerange Sebagai Sumber Energi Alternatif Yang Bekerlanjutan. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 2(3), 107–115.

- <https://doi.org/10.62012/zl.v1i3.12011>
- Ji, Z. G. (2017). Hydrodynamics and water quality: Modeling rivers, lakes, and estuaries. *Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries*, 89(39), 1–581. <https://doi.org/10.1002/9781119371946>
- Kappers, A. C., Mamoto, J. D., & Jasin, M. I. (2024). Alternatif Pemecahan Masalah Overtopping Manado Town Square. *Tekno*, 22(88), 1171–1182.
- Khoury, R., & Harder, D. W. (2016). *Numerical Methods and Modelling for Engineering*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21176-3>
- Lumbanraja, B. J., Danial, M. M., Lestari, A. D., Meirany, J., & Supriyadi, A. (2023). Pemodelan pola arus akibat pergerakan pasang surut di Muara Sungai Kapuas menggunakan Software Mike 21. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 6(1), 734–749. <https://doi.org/10.33387/jikk.v6i1.6347>
- Martyr-Koller, R. C., Kernkamp, H. W. J., van Dam, A., van der Wegen, M., Lucas, L. V., Knowles, N., Jaffe, B., & Fregoso, T. A. (2017). Application of an unstructured 3D finite volume numerical model to flows and salinity dynamics in the San Francisco Bay-Delta. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 192, 86–107. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.04.024>
- Narahawarin, S. a'Paulo, Djamiluddin, R., & Angmalisang, P. A. (2013). KARAKTERISTIK ARUS DI PERAIRAN SEKITAR KAWASAN KELURAHAN SARIO TUMPAAN TELUK MANADO. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 2(1), 13–20.
- Panchenko, E. D., Alabyan, A. M., & Fedorova, T. A. (2024). Numerical Hydrodynamic Modelling As a Tool for Research and Use of Tidal Rivers. *Geography, Environment, Sustainability*, 17(1), 36–43. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2023-3122>
- Pasaribu, R. P., Sewiko, R., & Arifin, A. (2022). Penerapan Metode Admiralty Untuk Mengolah Data Pasang Surut Di Perairan Selat Nasik - Bangka Belitung. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 10(1), 146. <https://doi.org/10.35800/jip.v10i1.39719>
- Sandbach, S. D., Nicholas, A. P., Ashworth, P. J., Best, J. L., Keevil, C. E., Parsons, D. R., Prokocki, E. W., & Simpson, C. J. (2018). Hydrodynamic modelling of tidal-fluvial flows in a large river estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 212(November 2017), 176–188. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.06.023>
- Sepang, I. S., Mamoto, J. D., & Thambas, A. H. (2024). Analisis Pasang Surut Di Kawasan Pantai Budo Desa Budo Kecamatan Wori Kabupaten Minahasa Utara. *Tekno*, 22(88), 1471–1478. <https://doi.org/10.35793/jts.v22i88.56954>
- Siebert, M. (1961). Atmospheric Tides. *Advances in Geophysics*, 7(C), 105–187. [https://doi.org/10.1016/S0065-2687\(08\)60362-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2687(08)60362-3)
- Singh, R. (2024). An Analysis Of The Mathematical Modelling To Understand And Analyze Complex Systems: Fundamentals Concept. *International Journal of Research in Science and Technology*, 14(14), 50–64. <https://doi.org/10.37648/ijrst.v14i02.006>
- Stokes, C., Poate, T., Masselink, G., Scott, T., & Instance, S. (2024). New insights into combined surfzone, embayment, and estuarine bathing hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24(11), 4049–4074. <https://doi.org/10.5194/nhess-24->

4049-2024

- Tezar, M., Irmayunita, M., Mualim, A., Faruq, F., & Prayogo, L. M. (2023). Karakteristik Multitemporal Arus Permukaan Laut di Perairan Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v5i1.53>
- Tombokan, F., & Takaendengan, T. (2021). Identifikasi Dan Pengukuran Debit Aliran Sungai Sario. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 3(3), 146–155. <http://jurnal.polimdo.ac.id/>
- Valle-Levinson, A., Schettini, C. A. F., & Truccolo, E. C. (2019). Subtidal variability of exchange flows produced by river pulses, wind stress and fortnightly tides in a subtropical stratified estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 221(March), 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.03.022>
- Warouw, F., Gay, F. S., & Takumansang, E. D. (2018). Perencanaan Kawasan Sempadan Sungai Sawangan Di Kota Manado. *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 5(1), 105–117. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/spasial/article/view/19284>
- Warren, I. R., & Bach, H. K. (1992). MIKE 21: a modelling system for estuaries, coastal waters and seas. *Environmental Software*, 7(4), 229–240. [https://doi.org/10.1016/0266-9838\(92\)90006-P](https://doi.org/10.1016/0266-9838(92)90006-P)