

Analisis Genangan Sungai Bailang Akibat Kombinasi Debit Sungai dan Pasang Surut menggunakan Program Mike 21

Frederiko Marchiano Imanuel Moningka^{1*}, Arthur Harris Thambas², Liany Amelia Hendratta³

¹⁻³ Program Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi

Email: moningkamarch@gmail.com^{1*}, arthur.thambas@unsrat.ac.id²,
lianyhendratta@unsrat.ac.id³

Alamat: Jl. Kampus UNSRAT Bahu Manado 95115

Korespondensi penulis: moningkamarch@gmail.com^{1*}

Abstract. The coastal area of Manado City, particularly the estuary of the Bailang River in Bunaken District, frequently experiences inundation due to the complex interaction between river discharge and tidal fluctuations. This study aims to analyze the spatial distribution and extent of flooding resulting from the combination of river discharge and tides, as well as to evaluate mitigation strategies based on numerical modeling results. A two-dimensional hydrodynamic model was developed using MIKE 21 Flow Model FM HD, utilizing topographic and bathymetric data from DEMNAS and BATNAS, along with 2023 river discharge and tidal data. Simulations were conducted for existing conditions, minimum discharge with maximum tide, and maximum discharge with maximum tide. The results show that tidal influence significantly contributes to the increase in flood extent and duration, especially when high river discharge coincides with peak tidal conditions. The most affected areas are Kelurahan Molas and Tumumpa, located along the riverbanks and near the fish auction port, with inundation covering up to 4.973 hectares and water depths exceeding 0.5 meters. Recommended mitigation strategies include river normalization and the implementation of a real-time hydrodynamic early warning system. This study supports flood risk management and coastal spatial planning, serving as a technical reference for local government policy-making.

Keywords: 2D Modelling, Inundation, MIKE 21, River discharge, Tidal Fluctuation,

Abstrak. Kawasan pesisir Kota Manado, khususnya di muara Sungai Bailang, Kecamatan Bunaken, sering mengalami genangan akibat interaksi kompleks antara debit sungai dan pasang surut laut. Penelitian ini bertujuan menganalisis pola dan luas genangan yang terjadi dari kombinasi debit sungai dan pasang surut, serta mengevaluasi strategi mitigasi berdasarkan hasil pemodelan numerik. Metode yang digunakan adalah pemodelan hidrodinamika dua dimensi menggunakan perangkat lunak MIKE 21 Flow Model FM HD, dengan data topografi dan batimetri dari DEMNAS dan BATNAS, serta data debit sungai dan pasang surut tahun 2023. Simulasi dilakukan pada kondisi eksisting, kombinasi debit minimum dan pasang maksimum, serta debit maksimum dan pasang maksimum. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pasang surut memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan luas dan durasi genangan, terutama saat debit sungai tinggi dan pasang laut maksimum. Kelurahan Molas dan Tumumpa merupakan wilayah terdampak utama, dengan luas genangan mencapai 4,973 ha dan kedalaman lebih dari 0,5 m. Strategi mitigasi yang direkomendasikan meliputi normalisasi sungai dan sistem peringatan dini berbasis data hidrodinamika. Temuan ini dapat mendukung kebijakan penanggulangan banjir dan perencanaan tata ruang berbasis risiko.

Kata kunci: Debit sungai, Genangan, MIKE 21, Pasang surut, Pemodelan 2D.

1. LATAR BELAKANG

Permasalahan genangan di kawasan hilir hingga muara sungai menjadi perhatian serius, terutama di wilayah pesisir dengan karakteristik hidrologi yang kompleks. Interaksi antara aliran sungai dan pasang surut laut menjadi faktor utama yang memengaruhi dinamika genangan di daerah ini.

Kota Manado memiliki iklim tropis basah dengan suhu yang cenderung stabil sepanjang tahun. Curah hujan yang ekstrem dan tidak terduga dapat memicu banjir yang berpotensi merusak, mengancam keselamatan warga, serta mengganggu aktivitas sehari-hari. Banjir sering melanda Kota Manado, terutama saat musim hujan (Mananoma & Moningka, 2024).

Sungai Bailang merupakan salah satu sungai utama di Kota Manado yang sering mengalami luapan saat terjadi hujan lebat, terutama di Kecamatan Bunaken. Luapan ini menyebabkan genangan luas yang berdampak signifikan terhadap lingkungan fisik, sosial, dan ekonomi masyarakat sekitar (Limpong et al., 2022). Genangan yang terjadi tidak hanya menghambat aktivitas penduduk, tetapi juga merusak infrastruktur dan mengancam kesehatan masyarakat akibat meningkatnya risiko penyakit yang ditularkan melalui air.

Salah satu metode yang efektif untuk menganalisis fenomena ini adalah dengan menggunakan pemodelan hidrodinamika MIKE 21. MIKE 21 adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memodelkan pergerakan arus pasang surut dan fenomena hidrodinamika lainnya. Software ini mampu mensimulasikan berbagai model, termasuk arus, gelombang, sedimen, dan ekologi di berbagai lingkungan seperti sungai, danau, muara, teluk, serta wilayah pesisir dan laut dalam model dua dimensi. MIKE 21 telah terbukti efektif dalam memprediksi parameter yang akan diukur di muara maupun di laut dengan membuat model hidrodinamika yang akurat (Lumbanraja et al., 2023).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penyusunan kebijakan mitigasi banjir di Kota Manado, terutama di daerah pesisir seperti Kecamatan Bunaken. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi acuan dalam perencanaan tata ruang berbasis mitigasi risiko bencana untuk mengurangi dampak genangan di masa mendatang.

2. KAJIAN TEORITIS

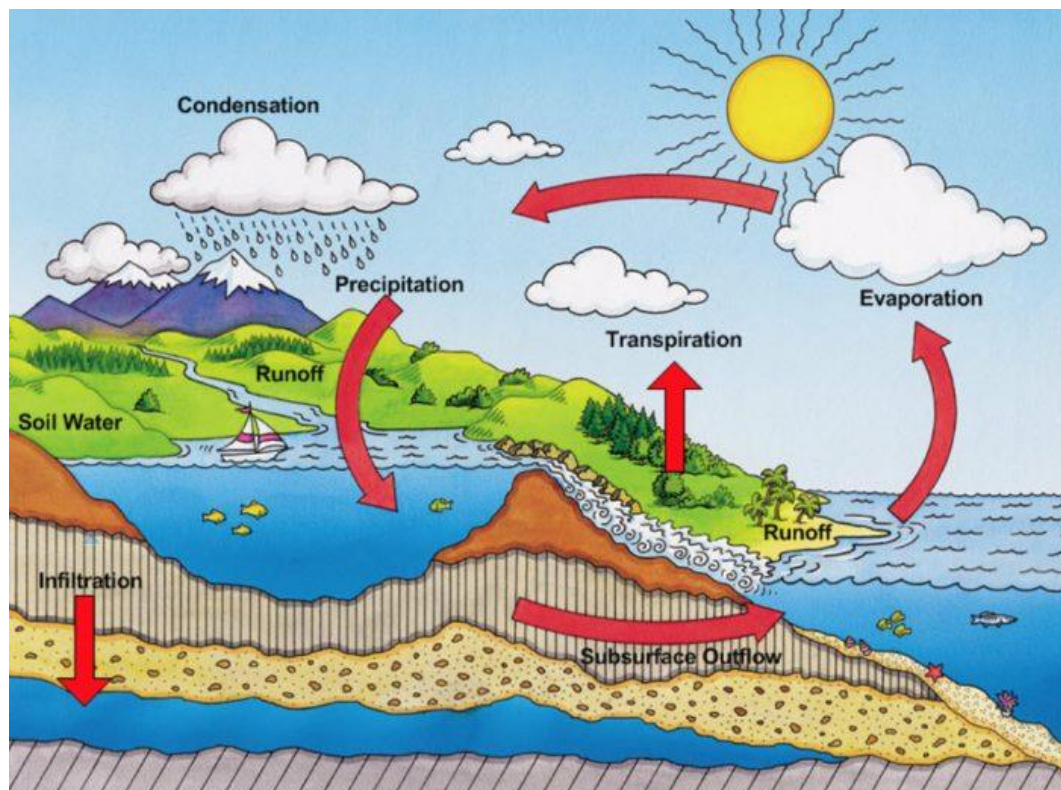
Hidrologi

Hidrologi merupakan cabang ilmu yang mengkaji pergerakan, distribusi, dan karakteristik air di permukaan bumi serta hubungannya dengan atmosfer dan lingkungan sekitarnya. Ilmu ini mencakup berbagai aspek, termasuk siklus hidrologi, curah hujan, aliran sungai, air tanah, serta proses evaporasi. Konsep siklus hidrologi pada dasarnya mencakup seluruh aspek yang berkaitan dengan pergerakan dan distribusi air di bumi. Keseimbangan air secara global sangat dipengaruhi oleh kondisi berbagai badan air,

seperti aliran permukaan yang meliputi sungai, saluran buatan, rawa, kolam, dan danau, serta keberadaan air tanah yang berperan dalam sistem hidrologi secara keseluruhan (Tallar, 2023). Siklus atau daur hidrologi merupakan proses yang berkelanjutan di mana air mengalami perpindahan dari permukaan bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi. Dalam neraca air tahunan, jumlah air yang dihitung dinyatakan dalam persentase relatif terhadap curah hujan yang turun di daratan (100%) (Manoppo et al., 2022). Menurut Mada Raharja dan Suharto, (2024) siklus hidrologi merupakan proses alami yang menjaga keberlanjutan distribusi air di bumi melalui berbagai tahapan, dimulai dari evaporasi hingga akhirnya kembali ke permukaan dalam bentuk presipitasi.

Menurut Hazbavi dan Alaei, (2024) siklus hidrologi adalah proses alami yang mengatur pergerakan air di permukaan bumi melalui evaporasi, presipitasi, infiltrasi, dan limpasan, di mana setiap tahapnya dipengaruhi oleh interaksi antara iklim, vegetasi, dan aktivitas manusia.

Studi hidrologi modern telah berkembang untuk mencakup analisis kompleks menggunakan big data, model hidrologi berbasis kecerdasan buatan, serta pendekatan lintas disiplin yang mempertimbangkan dampak perubahan iklim dan aktivitas manusia terhadap siklus hidrologi (Addor et al., 2020)



Gambar 1. Siklus Hidrologi

Sumber: Ramadhan, n.d.2023

Debit Sungai

Debit sungai dapat diartikan sebagai jumlah air yang melewati suatu penampang melintang sungai dalam kurun waktu tertentu, yang biasanya dihitung dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s).

Debit sungai adalah jumlah air yang mengalir melewati titik tertentu di sungai dalam waktu satu detik, biasanya diukur dalam meter kubik per detik. Besarnya debit sungai tergantung pada faktor-faktor seperti hujan, bentuk tanah, dan cara lahan digunakan di sekitar sungai. Debit sungai penting untuk mengelola air, merencanakan irigasi, dan mencegah banjir (Hendratta et al., 2024).

Secara matematis persamaan debit sebagai berikut:

$$Q = A \times V$$

Keterangan :

Q : Debit Aliran (m^3/s)

A : Luas penampang aliran sungai (m^2)

V : Kecepatan aliran m/s

Pasang Surut

Pasang surut merupakan dinamika fluktuasi elevasi muka air laut yang terjadi secara siklikal, dipengaruhi oleh interaksi gaya gravitasi antara bumi, bulan, dan matahari. Fenomena ini berperan dalam perubahan hidrodinamika perairan serta dapat mempengaruhi kondisi aliran pada kawasan pesisir dan muara sungai. (Nadira et al., 2023).

Pasang surut terjadi karena adanya pengaruh gaya gravitasi yang diberikan oleh Bulan dan Matahari terhadap air Bumi. Gravitasi Bulan memiliki efek yang lebih dominan karena jaraknya lebih dekat dibandingkan dengan Matahari. Bila gaya tarik bulan menarik air maka terjadilah pasang surut, sedangkan bila gaya tarik bulan maka terjadilah pasang surut. Saat bulan dan matahari sejajar dengan Bumi, terjadi pasang surut tertinggi, dikenal sebagai pasang surut seperempat, sementara saat keduanya berada pada sudut 90 derajat dengan Bumi, terjadi pasang surut terendah yang dikenal sebagai pasang surut perbani kecil (Kurniawan et al., 2022).

Tabel 1. Jenis – Jenis Pasang Surut

Jenis Pasang Surut	Karakteristik	Siklus Waktu	Contoh wilayah
Harian (<i>Daily Tides</i>)	<i>Diurnal</i> , <i>semidiurnal</i> , <i>mixed</i>	1 hari	Amerika, Asia Tenggara, Eropa
Bulanan (<i>Monthly Tides</i>)	<i>Spring</i> dan <i>Neap Tides</i>	29,5 hari	Seluruh dunia
Tahunan (<i>Annual Tides</i>)	<i>Perihelion</i> dan <i>Aphelion</i>	365 hari	Wilayah pesisir dunia

Sumber: Jasin & Jansen, 2019

Interaksi Sungai dan Pasang Surut

Interaksi sungai dan pasang surut merujuk pada dinamika yang terjadi antara aliran air sungai dan pengaruh pasang surut di daerah muara atau estuari. Interaksi ini terjadi karena sungai yang bermuara di laut mengalami fluktuasi muka air akibat gaya gravitasi bulan dan matahari yang mempengaruhi pasang surut (Alza, 2024).

Proses terjadi interaksi antara sungai dan pasang surut adalah aliran sungai menuju laut (hulu ke hilir) sebagai bagian dari siklus hidrologi. Debit sungai dipengaruhi oleh curah hujan, infiltrasi tanah, dan pengaturan bendungan, semakin besar debit sungai, semakin kuat aliran menuju laut (Wang et al., 2024).

Tabel 2. Faktor yang memengaruhi Interaksi

Faktor	Pengaruh terhadap interaksi
Debit sungai	Semakin besar debit sungai, semakin kuat tekanan aliran menuju laut, mengurangi efek pasang naik.
Tinggi Pasang Surut	Pasang tinggi dapat memperlambat atau membalikkan aliran sungai, menyebabkan genangan di muara.
Morfologi sungai	Muara yang dangkal lebih rentan terhadap sedimentasi dan perubahan aliran akibat pasang surut.
Angin dan Gelombang	Angin kencang dan gelombang dapat meningkatkan tinggi muka air, memperburuk dampak pasang naik.
Perubahan iklim	Kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim meningkatkan frekuensi banjir rob di muara sungai.

Sumber : penulis 2025

Pemodelan Hidrodinamika Menggunakan MIKE 21

Konsep pemodelan hidrodinamika merujuk pada penggunaan model matematis dan simulasi untuk memahami dan memprediksi perilaku aliran air dalam sistem perairan, termasuk laut, sungai, dan danau. Pemodelan ini mencakup analisis berbagai faktor seperti gelombang, arus, dan pasang surut, serta interaksi antara air dan struktur di sekitarnya. Tujuan dari pemodelan hidrodinamika adalah untuk memberikan wawasan yang lebih baik tentang dinamika perairan, yang dapat digunakan untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, perlindungan pantai, dan mitigasi dampak lingkungan (Tumimomor et al., 2023) (Arthur, H. Thambas, Ohgushi, 2015).

Model hidrodinamika merupakan suatu pendekatan matematika dalam dinamika fluida yang didasarkan pada tiga persamaan utama, yaitu persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan persamaan energi. Ketiga persamaan ini menggambarkan perilaku fisik fluida serta merepresentasikan tiga prinsip fundamental dalam fisika, yaitu:

- 1) Kekekalan massa (kontinuitas).
- 2) Hukum Newton II ($F = m \cdot a$).
- 3) Hukum kekekalan energi.

Ketiga prinsip ini menjadi dasar utama dalam pemodelan hidrodinamika, termasuk dalam analisis aliran sungai, interaksi dengan pasang surut serta dampaknya terhadap fenomena genangan dan banjir.

a) Persamaan Kontinuitas (Konservasi Massa)

Persamaan ini menunjukkan bagaimana perubahan volume air terjadi akibat interaksi debit sungai dan pasang surut.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = Q_s + Q_t - Q_o$$

Keterangan:

- | | |
|-------------|---|
| h | = Kedalaman air (m) |
| u dan v | = Komponen kecepatan aliran dalam arah x dan y (m/s). |
| Q_s | = Debit masuk dari sungai (m^3/s) |
| Q_t | = Debit masuk akibat pasang surut (m^3/s) |
| Q_o | = Debit keluar (m^3/s) |
| t | = Waktu (s). |

b) Persamaan Momentum (Konservasi momentum 2D *Shallow Water Equations*).

Persamaan ini menggambarkan percepatan aliran akibat gravitasi, gesekan, dan gaya eksternal (seperti angin dan Coriolis)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{C_f u}{h}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{C_f v}{h}$$

Keterangan:

- η = Elevasi muka air (m).
 g = Percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)
 ν_t = viskositas turbulensi (m^2/s)
 C_f = koefisien gesekan dasar

c) Persamaan Ketinggian Genangan (*Flood Depth Calculation*)

Untuk mengetahui tinggi genangan akibat kombinasi debit sungai dan pasang surut.

$$H_f = \eta + h - z$$

Keterangan:

- H_f = tinggi genangan di suatu titik (m)
 η = tinggi muka air akibat pasang surut (m)
 h = kedalaman air akibat debit sungai (m)
 z = elevasi tanah di lokasi tersebut (m)

Genangan terjadi jika $H_f > 0$ dengan besarnya genangan bergantung pada topografi wilayah dan interaksi debit sungai serta pasang surut.

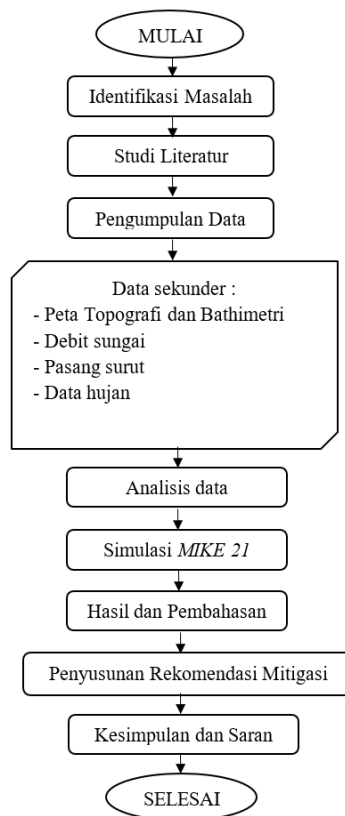
3. METODE PENELITIAN

Lokasi Studi Penelitian

Sungai Bailang merupakan salah satu sungai besar yang berada di Kota Manado yang memiliki panjang mencapai 28 km. Penelitian ini difokuskan pada bagian hilir Sungai Bailang Kecamatan Bunaken Kota Manado. Wilayah ini mencakup area yang berada di antara zona pesisir utara Teluk Manado dan kawasan permukiman padat penduduk di sekitar Kelurahan Bailang dan sekitarnya. Wilayah studi dibatasi oleh garis poligon berwarna kuning sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Analisis Data Masukan

1. Data topografi, batimetri dan *boundary*

Digunakan untuk membuat *grid mesh* pada menu *mesh generator* pada *program MIKE ZERO*. Data batimetri dan topografi berupa format XYZ, yaitu XY posisi dan Z kedalaman/ketinggian dan data *boundary* dalam format XY yang kemudian disesuaikan dengan format data *MIKE 21*. Data ini diperoleh dari peta DEMNAS untuk topografi dan BATNAS untuk batimetri.

2. Data debit sungai

Data debit sungai Bailang ini diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I (BWSS1) periode tahun 2023 yang akan dimasukkan pada *program MIKE* sebagai *boundary condition* bagian hulu (*inlet*).

Pengolahan debit sungai ini akan diinput setelah kita memilih modul yang akan dilakukan simulasi pada penelitian ini akan menggunakan modul *MIKE 21 Flow Model FM*.

3. Data pasang surut

Data pasang surut berupa waktu dan tinggi muka air yang diperoleh dari observasi Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG) dengan periode 1 Januari 2023 sampai dengan 31 Desember 2023 dan akan digunakan sebagai *boundary condition* bagian hilir (*outlet*).

4. Data angin

Data ini berupa data kecepatan dan arah diperoleh dari observasi Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG) periode 1 Januari 2023 sampai dengan 31 Desember 2023 kemudian data tersebut akan disesuaikan dengan format data *MIKE 21*. dan data ini akan digunakan untuk melihat gaya dorong akibat angin terhadap permukaan air.

Rancangan Pemodelan *MIKE 21*

Program *MIKE 21* sering digunakan dalam penelitian hidrodinamika untuk menganalisis berbagai aspek seperti banjir, pasang surut, dan kualitas air. Model ini dapat menggabungkan faktor – faktor kompleks seperti debit sungai, pasang surut dan dampak eksternal lainnya (Wu et al., 2024).

Rancangan percobaan dilakukan dengan menggunakan model simulasi hidrodinamika pada perangkat lunak *MIKE* untuk menganalisis pengaruh kombinasi debit

sungai dan pasang surut terhadap terjadinya genangan. Beberapa tahapan dalam rancangan percobaan ini adalah sebagai berikut.

1. Pengolahan data masukan

Data debit sungai, pasang surut, topografi, batimetri dan data angin dan n mannings diolah untuk disesuaikan sebagai input dalam pemodelan *MIKE*.

2. Pengaturan parameter model

Tahap ini parameter – parameter yang memengaruhi simulasi ditentukan dan disesuaikan dengan kondisi lapangan.

3. Simulasi skenario

Simulasi dilakukan dengan berbagai skenario yang mencakup.

- 1) Debit dan pasang surut (keadaan eksisting).

Sebagai *baseline* situasi kondisi nyata pada lokasi penelitian.

- 2) Debit terendah dan pasang tertinggi.

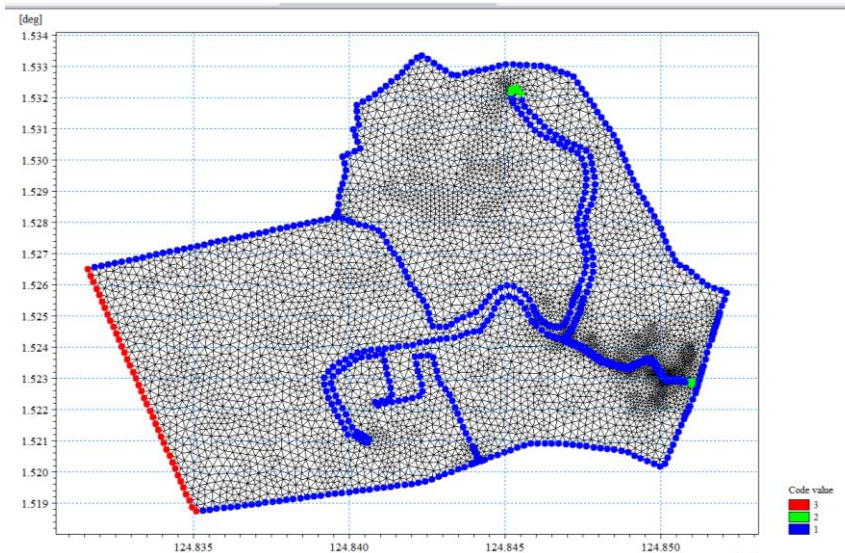
Untuk melihat efek dominan pasang terhadap genangan, meski debit kecil.

- 3) Debit tinggi dan pasang tinggi

Untuk mengidentifikasi potensi bahaya ekstrim saat debit dan pasang mencapai puncaknya secara bersamaan.

4. Validasi model

Validasi model atau analisis hasil memastikan bahwa model dari hasil simulasi mampu merepresentasikan kondisi nyata dengan akurat.



Gambar 4. Mesh Boundary

Tabel 3. Mesh Information

Parameter	Jumlah
Number of nodes	5743
Number of elements	11209
Boundary Nodes	551
Minimum z koordinat (m)	-93.818
Maximum z koordinat (m)	53.654

Sumber : penulis 2025

Analisis Spasial Genangan Menggunakan ArcMap 10.8 (GIS)

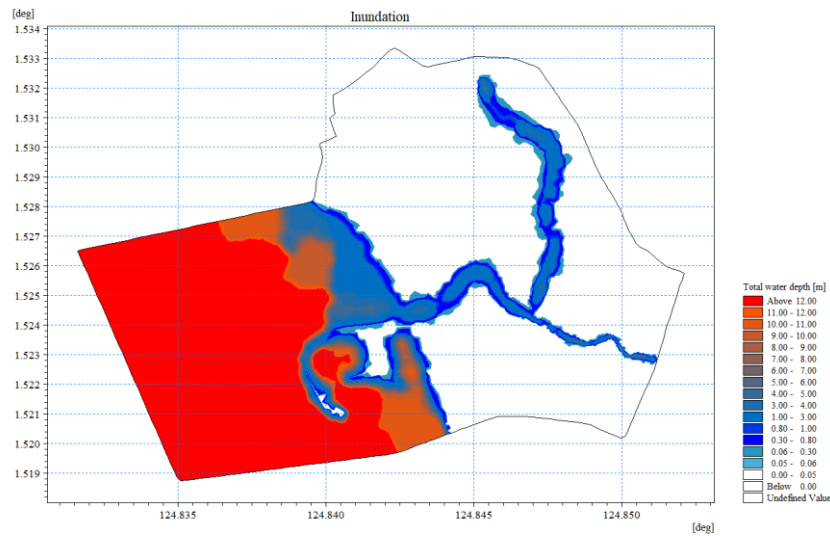
Analisis spasial genangan bertujuan untuk mengetahui sebaran wilayah yang terdampak akibat luapan air dari kombinasi debit sungai dan pasang surut. Data yang digunakan bersumber dari output simulasi MIKE 21 dengan modul *Only Real Wet Area*, menggunakan parameter *Total Water Depth (TWD)* sebagai indikator utama kedalaman genangan. Untuk memastikan akurasi dan menghindari hasil yang bersifat genangan yang tidak signifikan, digunakan kriteria ambang batas kedalaman genangan sebesar 0,05 meter (5 cm).

Ambang batas 5 cm digunakan karena genangan di bawah nilai tersebut secara teknis sering kali dianggap tidak signifikan secara hidrologis dan tidak berdampak besar terhadap aktivitas masyarakat, infrastruktur atau lingkungan. Hal ini juga sejalan dengan standar analisis genangan untuk keperluan mitigasi dan evaluasi tata ruang (Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2014) (Fauzan & Hartati, 2024).

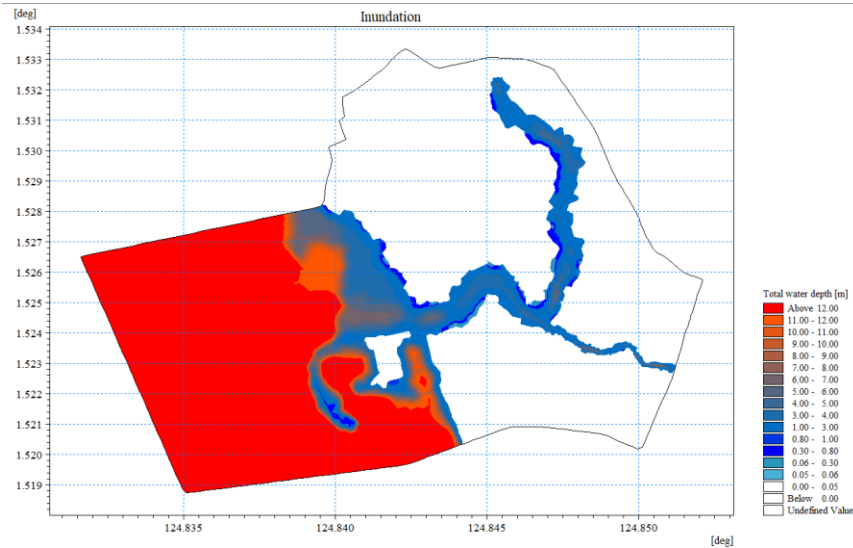
Bagian ini memuat rancangan penelitian meliputi disain penelitian, populasi/sampel penelitian, teknik dan instrumen pengumpulan data, alat analisis data, dan model penelitian yang digunakan. Metode yang sudah umum tidak perlu dituliskan secara rinci, tetapi cukup merujuk ke referensi acuan (misalnya: rumus uji-F, uji-t, dll). Pengujian validitas dan reliabilitas instrumen penelitian tidak perlu dituliskan secara rinci, tetapi cukup dengan mengungkapkan hasil pengujian dan interpretasinya. Keterangan simbol pada model dituliskan dalam kalimat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

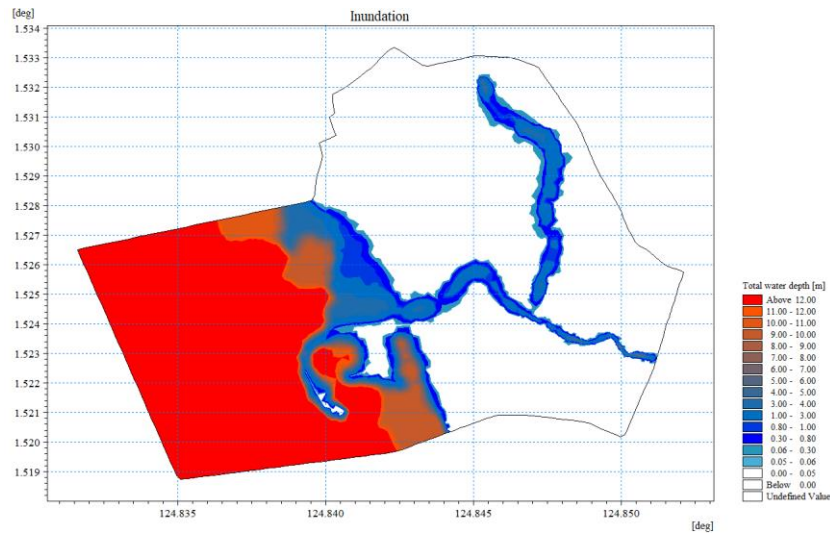
1. Skenario Debit Sungai dan Pasang Surut (kondisi Eksisting)



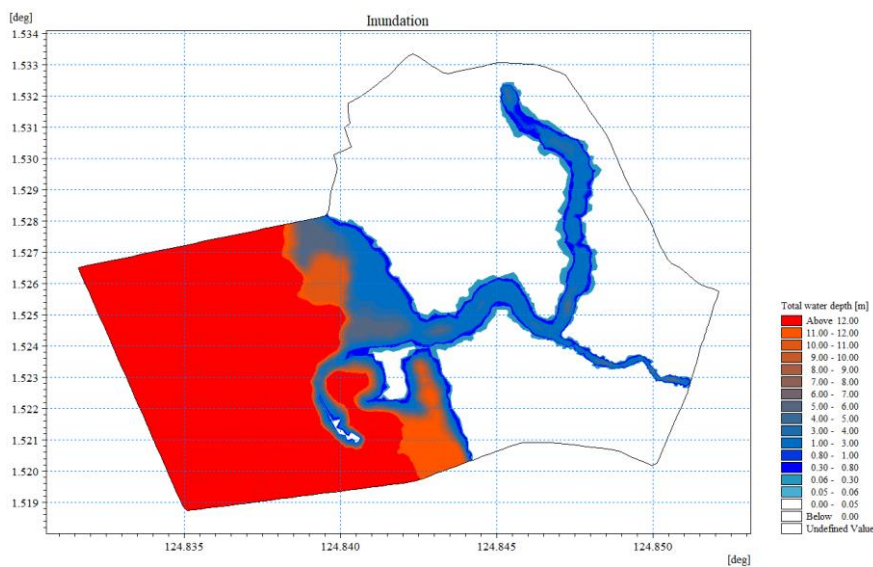
Gambar 5. *Output Inundation Area 22 Januari 2023 04:00 WITA*



Gambar 6. *Output Inundation Area 22 Januari 2023 10:00 WITA*



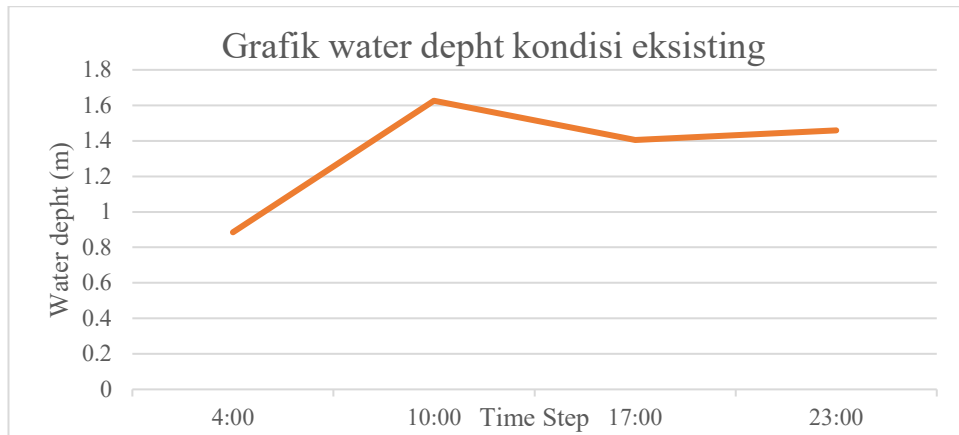
Gambar 7. *Output Inundation Area 22 Januari 2023 17:00 WITA*



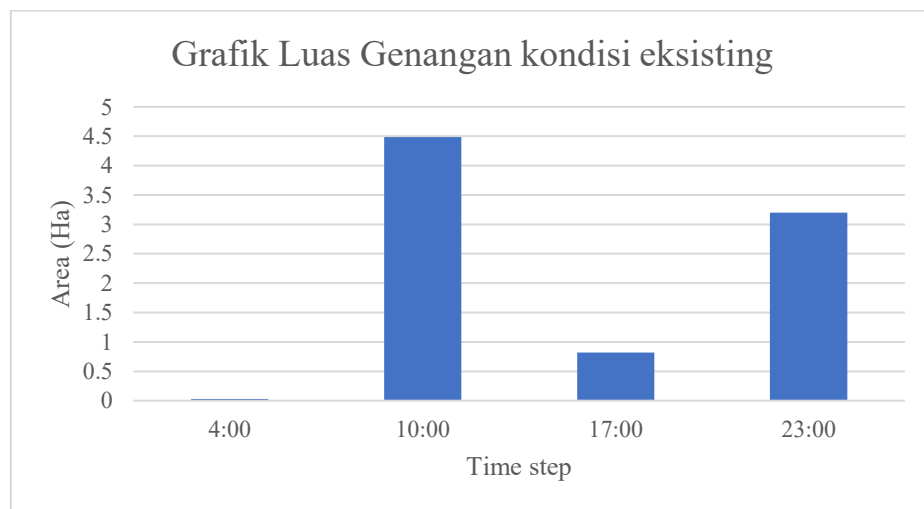
Gambar 8. *Output Inundation Area 22 Januari 2023 23:00 WITA*

Tabel 4. Hasil Analisis Genangan Skenario 1

Time Step	Surface elev	Total water depht	Luas m^2	Luas Ha
Pukul 04:00 WITA	0.158	0.885	313.259	0.031
Pukul 10:00 WITA	1.325	1.626	44846.860	4.485
Pukul 17:00 WITA	0.244	1.405	8198.072	0.820
Pukul 23:00 WITA	0.600	1.459	31970.392	3.197



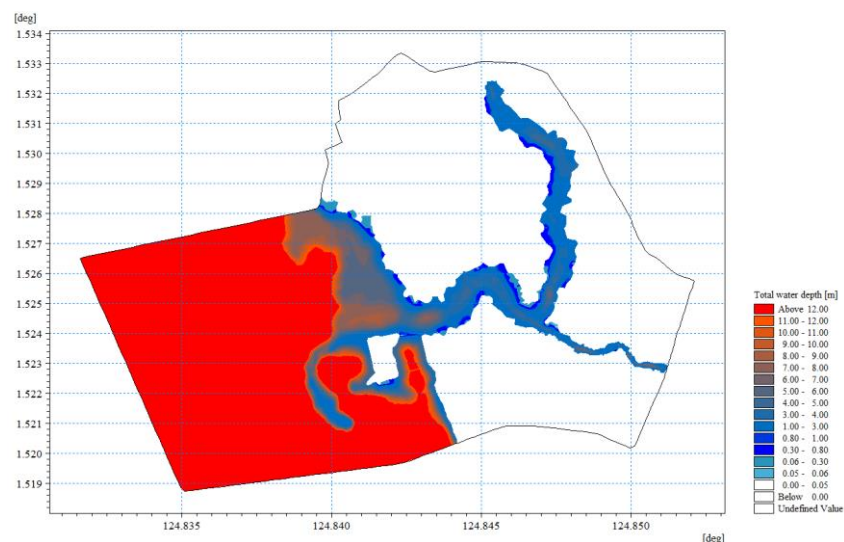
Gambar 9. Grafik *water depht* kondisi eksisting



Gambar 10. Diagram batang luas genangan kondisi eksisting

2. Skenario Debit terendah dan Pasang tertinggi

Untuk skenario kedua ini diperoleh hasil sebagai berikut.



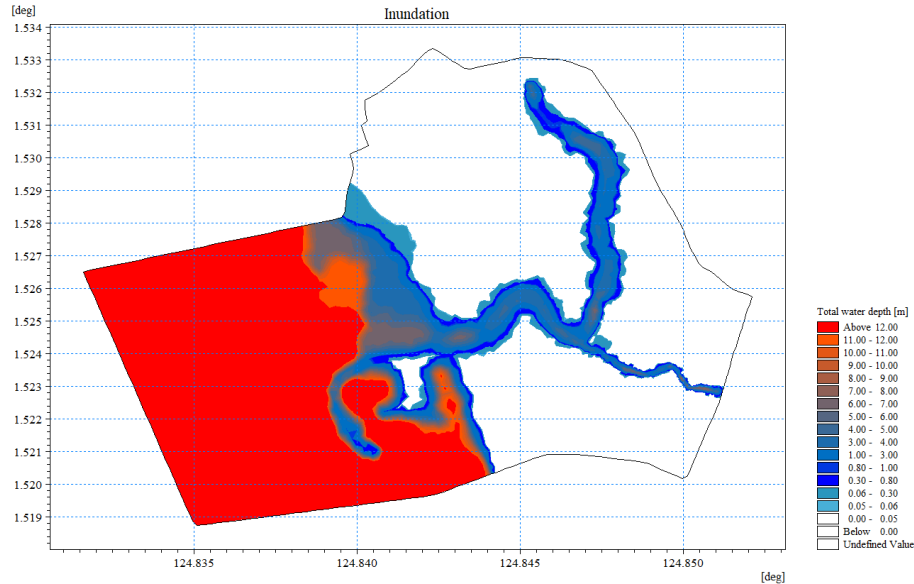
Gambar 11. *Output Inundation* kondisi debit terendah dan pasang tertinggi

Tabel 5. Hasil analisis Genangan debit terendah dan pasang tertinggi

Surface elev	Total water depht	Luas m^2	Luas Ha
1.345	1.690	43600.590	4.360

3. Debit tertinggi dan Pasang tertinggi

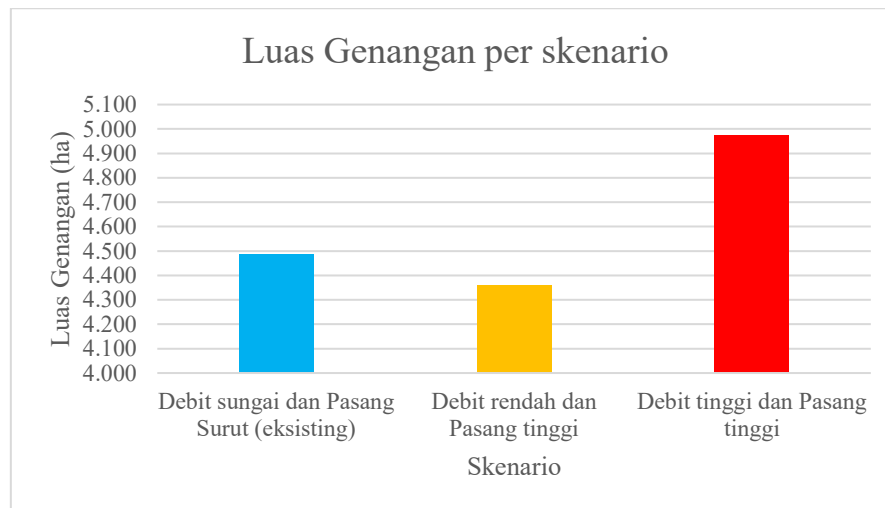
Pada skenario ini hasil disajikan pada tabel di bawah ini.

**Gambar 12.** Output Inundation kondisi debit tertinggi dan pasang tertinggi**Tabel 6.** Genangan debit tinggi dan pasang tinggi

Surface elev	Total water depht	Luas m^2	Luas Ha
1.664	1.749	49732.388	4.973

Tabel 7. Hasil analisis dari ketiga skenario

Skenario	Surface elev (m)	Total water depht (m)	Luas (m^2)	Luas (ha)
Debit sungai dan Pasang Surut (eksisting)	1.325	1.626	44846.860	4.485
Debit rendah dan Pasang tinggi	1.345	1.69	43600.59	4.36
Debit tinggi dan Pasang tinggi	1.664	1.749	49732.388	4.973



Gambar 13. Perbandingan luas genangan ketiga skenario.

Rekomendasi Strategi Mitigasi

1. Normalisasi Sungai Bailang

Tujuannya : Meningkatkan kapasitas tampung aliran Sungai bailang dan mempercepat aliran air ke laut.

Dasar Rekomendasi : Elevasi muka air meningkat drastis pada skenario debit tinggi dan pasang tinggi ini menunjukkan perlunya pelebaran atau mendalamkan sungai pada lokasi hulu hingga hilir Sungai Bailang pada area penelitian.

2. Pembangunan Sistem Peringatan dini Banjir (*Early Warning System*)

Tujuan : untuk memberi peringatan berbasis prediksi curah hujan dan pasang laut secara *real – time* kepada masyarakat.

Dasar rekomendasi : Hasil simulasi menunjukkan kombinasi waktu puncak debit dan pasang sebagai pemicu utama genangan besar. Peringatan dini akan memberi waktu evakuasi atau antisipasi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi hidrodinamika dengan MIKE 21 dan analisis spasial tahun 2023 di Muara Sungai Bailang, interaksi antara debit sungai dan pasang surut terbukti signifikan memengaruhi luas genangan, terutama saat keduanya berada pada kondisi maksimum, yang menghasilkan genangan hingga 4,973 ha. Daerah paling rawan genangan teridentifikasi di Kelurahan Molas dan Tumumpa, khususnya di tepi sungai dan sekitar dermaga Tempat Pelelangan Ikan.

Pasang laut memiliki pengaruh lebih dominan dibanding debit sungai, terutama saat pasang tinggi terjadi bersamaan dengan debit rendah, akibat tekanan balik dari laut yang menghambat aliran sungai.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data multi temporal dan mempertimbangkan dampak perubahan iklim untuk skenario jangka panjang. Pengamatan lapangan perlu dilakukan guna meningkatkan akurasi kalibrasi dan validasi model. Pemerintah daerah juga perlu memprioritaskan wilayah berisiko tinggi dalam kebijakan tata ruang, sementara pemanfaatan teknologi seperti pemodelan MIKE terbukti efektif dan layak diintegrasikan secara rutin dalam perencanaan pengendalian banjir.

DAFTAR REFERENSI

- Addor, N., Do, H. X., Alvarez-Garreton, C., Coxon, G., Fowler, K., & Mendoza, P. A. (2020). Large-sample hydrology: Recent progress, guidelines for new datasets and grand challenges. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 712–725. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1683182>
- Alza, A. (2024). *Pemodelan genangan banjir sebagai upaya mitigasi bencana menggunakan HEC-RAS (Studi kasus: Sungai Kelekar Kota Prabumulih)* [Undergraduate thesis or similar work].
- Arthur, H. Thambas, & Ohgushi, K. (2015). Inundation risk analysis of the storm surge and flood in the coastal area of the Ariake Sea using GIS and 2-D flooding simulation. *International Journal of Scientific Research*, 4(12), 2277–8179.
- Fauzan, M. I., & Hartati, E. (2024). Penentuan skala prioritas penanganan genangan menggunakan metode skoring di Kecamatan Cangkuang. *FTSP Series*, 1011–1016.
- Hazbavi, Z., & Alaei, N. (2024). Assessment and optimization of hydrological connectivity for effective management of water resources in the Samian Watershed. *Spatial Planning*, 14(3), 115–138.
- Hendratta, L. A., Laurentia, S. C., Koh, D., Mangangka, I., Thambas, A., Sumanti, F., & Monica, L. (2024). Tondano Lake management—Environmental issues and integrated counter measurements. *Environment and Ecology Research*, 12(5), 480–491. <https://doi.org/10.13189/eer.2024.120502>
- Jasin, M. I., & Jansen, T. (2019). Analisis pasang surut pada daerah pantai Tobololo Kelurahan Tobololo Kota Ternate Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 7(11), 1515–1526.
- Kurniawan, A., Egon, A., Sujatmiko, K. A., & Malakani, A. I. (2022). Hydrodynamic modelling of tidally-influenced fluvial zone: A study case of Palembang,

- Indonesia. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 27(1), 83–92.
- Limpong, J. A., Mananoma, T., & Sumarauw, J. S. F. (2022). Kajian pengendalian banjir di Sungai Bailang Kecamatan Bunaken Kota Manado. *Tekno*, 20(82), 719–729.
- 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>
- Mada Raharja, A., & Suharto, Y. (2024). Pengembangan media pembelajaran berbasis augmented reality pada pembelajaran geografi materi siklus hidrologi kelas X SMA. *Jayapangus Press Cetta: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 7(3), 47–57.
- Mananoma, T., & Moningka, F. M. I. (2024). Alternatif pengendalian limpasan permukaan di perkotaan dengan menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *EDUSAINTEK: Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi*, 11(2), 671–680.
- Manoppo, M. J., Mananoma, T., & Sumarauw, J. S. F. (2022). Kajian pengendalian banjir Sungai Londola Tilawat di Desa Tombatu Kabupaten Minahasa Tenggara. *Tekno*, 20.
- Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan* (pp. 1–333).
- Nadira, A. I., Ismanto, A., Hakim, A. R., & Ramdhani, A. (2023). Tinjauan pengaruh pasang surut terhadap arus permukaan menggunakan data HF Radar di perairan Selat Sunda. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(4), 256–264. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i4.16834>
- Tallar, R. Y. (2023). *Dasar-dasar hidrologi terapan*. Ideas Publishing.
- Tumimomor, J., Jasin, M. I., Jansen, T., & Tangkudung, N. J. (2023). Studi dinamika gelombang pantai di Tanjung Assa Kecamatan Likupang Timur. *Tekno*, 20, 1295–1303.
- Wang, Z., Chen, Y., Zeng, Z., Li, R., Li, Z., Li, X., & Lai, C. (2024). Compound effects in complex estuary-ocean interaction region under various combination patterns of storm surge and fluvial floods. *Urban Climate*, 58, 102186. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102186>
- Wu, C., Wan, J., Wang, Y., Bi, Z., Wang, Y., & Ren, X. (2024). Evaluation of water quality fluctuation in the tidal reach under the impact of onshore wastewater discharges based on MIKE 21 model in Dongguan, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 136, 103730.