

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan area yang dilalui oleh aliran air, mengalir dari wilayah yang berada di ketinggian menuju ke area yang lebih rendah, baik di permukaan maupun di bawah tanah. Sungai bisa dibedakan berdasarkan sifatnya sebagai daerah hulu, hilir, dan muara, dimana masing-masing wilayah memiliki karakteristik unik untuk aliran sungainya. Bidang kajian yang memperhatikan fenomena di sungai itu ialah hidrologi. Hidrologi merupakan disiplin ilmu yang khusus mempelajari perjalanan air di permukaan bumi beserta dampak-dampaknya. Pokok ilmu hidrologi ialah mengamati pelbagai fenomena alam, seperti mengukur aliran air di sungai yang telah dibincangkan sebelum ini. Ialah norma dalam bidang hidrologi bahwa konsep Daerah Aliran Sungai (DAS) menjadi faktor utama dalam pengamatan, pengukuran, serta interpretasi siklus hidrologi dan implikasinya terhadap lingkungan.

Pemodelan sungai melibatkan proses penciptaan model sungai. Model merupakan gambaran dari suatu wujud yang sebenarnya, dimana setiap elemen saling terhubung untuk membentuk sebuah kesatuan, yang sering kali dibuat untuk mencapai tujuan tertentu. Tujuan dari melakukan pemodelan ialah untuk menganalisis dan memberikan prediksi yang mendekati situasi sebenarnya sebelum sistem diterapkan secara langsung di lapangan. Menghadapi tantangan dalam memprediksi dan mengamati proses tertentu di lapangan bisa menjadi hal yang rumit. Walaupun model mampu merumuskan proses dengan baik, tidak selalu dapat memberikan solusi yang tepat. Maka, perlu adanya perbandingan atau validasi antara model matematika dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Pemodelan sistem saluran sungai menjadi esensial untuk memastikan keakuratan model matematik, mengingat keterbatasan data yang umumnya tersedia. Selain itu, hal ini juga akan memberikan bantuan yang berarti dalam pengambilan keputusan di berbagai situasi yang berkaitan dengan sungai.

Setiap sungai pastinya memiliki ciri khas dan tampilan yang unik, termasuk juga Sungai Maro. Perbedaan bisa saja timbul karena beragam faktor, seperti kondisi topografi dan hal-hal lainnya. Berkat perkembangan teknologi, informasi, dan komunikasi, telah tercipta banyak aplikasi praktis di bidang Teknik Sipil, khususnya dalam urusan keairan. Salah satu aplikasi yang dimaksud adalah MIKE 21 FM HD. Dalam rangka perencanaan penelitian terkait penyusunan tesis ini, saya telah memilih judul **"Analisis Pola Aliran di Sungai Maro Kabupaten Merauke"**.

1.1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tinggi muka air dan debit pada Sungai Maro?
2. Bagaimana pola aliran yang terjadi pada Sungai Maro?

1.1.2 Batasan Masalah

Dari hasil penelitian yang dilakukan, fokus utamanya adalah pada:

1. Penelitian ini dilakukan di Sungai Maro, Kabupaten Merauke
2. Melakukan simulasi komputasi mengenai pola aliran menggunakan perangkat lunak MIKE 21, dengan mempertimbangkan variabel syarat batas dan memvalidasi hasil berdasarkan data debit dan arus yang tercatat.

1.1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini:

1. Menganalisis tinggi muka air dan debit Sungai Maro.
2. Menganalisis model pola aliran yang terjadi pada aliran Sungai Maro menggunakan software MIKE 21.

1.2 Teori

1.2.1 Muara Sungai

Muara merupakan tempat di mana sungai bertemu dengan laut, di mana air sungai mengalir ke laut terutama saat banjir, muara harus luas, dalam, dan terletak di hilir sungai sehingga mengalirkan air sungai dengan lebih banyak dibandingkan dengan bagian hulu. Karena adanya endapan sedimen di muara, persoalan utama yang sering terjadi ialah penurunan volume aliran air, sehingga dapat menghambat proses pembuangan air sungai ke laut. Peristiwa ini telah mengakibatkan adanya pergerakan arus yang memengaruhi jalannya proses di muara. Triatmodjo in 1999.

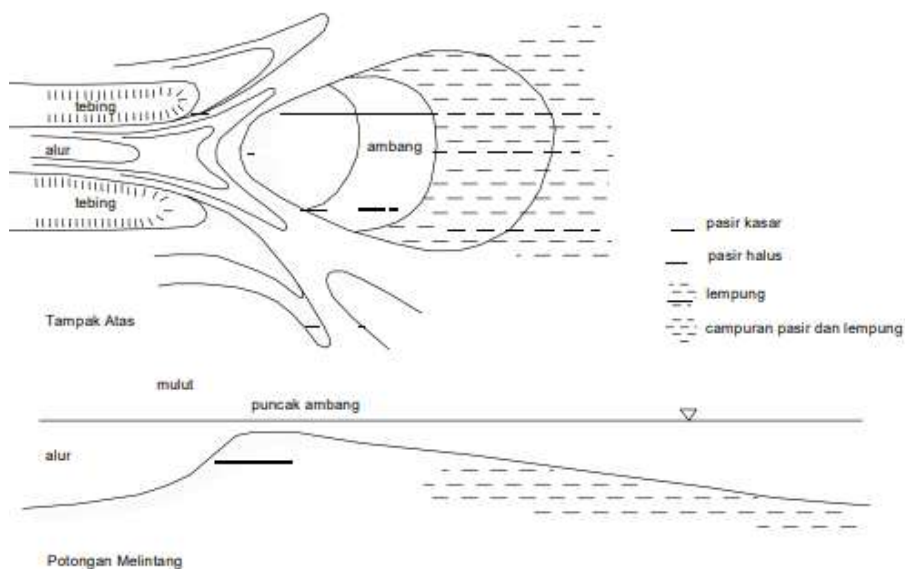
Muara sungai dapat dibagi menjadi tiga kelompok yang berbeda berdasarkan faktor dominan yang mempengaruhi mereka. Tiga faktor yang menjadi dominan adalah gelombang, arus sungai, dan pasang surut. Faktor yang dominan berinteraksi secara bersama-sama, tetapi secara umum ada satu di antaranya yang memiliki pengaruh lebih dominan dibanding yang lainnya. Di sungai kecil mengalir menuju laut terbuka, gelombang memiliki pengaruh paling besar. Di sungai besar yang mengalir ke laut yang tenang, yang paling mencolok adalah banyaknya air yang mengalir.

1.2.2 Muara yang Didominasi Debit Sungai

Muara ini terdapat di sungai yang selalu mengalir deras sepanjang tahun dan berakhir di laut yang memiliki ombak yang tenang. Sungai mengalir membawa sedimen besar dari daerah hulu, sehingga saat mencapai muaranya, sedimen yang terdapat berupa partikel suspensi yang sangat kecil. Sifat-sifat sedimen kohesif ini terutama dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan dan gaya gravitasi. Saat air surut datang, sedimen akan terbawa menuju muara dan menyebar di perairan laut. Ketika terjadi perubahan arah aliran air yang melambat, sebagian partikel yang terlarut akan mengendap. Saat proses pemasangan sedang berlangsung, arus semakin kuat dan sebagian partikel laut kembali ke sungai, menyatu dengan endapan dari bagian atas sungai. Pada saat berpindah dari arah pasang ke surut atau sebaliknya, aliran air

mulai menguat secara perlahan hingga mencapai puncaknya, sebelum akhirnya perlahan-lahan melambat kembali.

Pada saat air sungai surut dengan deras, alirannya melambat, sehingga sebagian sedimen yang telah terendapkan terbawa kembali. Ini mengakibatkan endapan di muara sungai, di mana arus yang lebih lambat tidak mampu menghilangkan seluruh endapan yang terbentuk. Dengan demikian, dalam setiap periode pasang surut, jumlah sedimen yang mengendap lebih banyak daripada yang tererosi, menyebabkan terjadinya 8 kali pengendapan di depan muara sungai. Proses terus berlangsung hingga akhirnya muara sungai membentuk delta saat mencapai laut. Bisa dilihat dalam Ilustrasi 1. Pola sedimen di muara sungai menggambarkan bahwa terdapat endapan yang terjadi di depan muara dan dikuasai oleh volume air sungai.



Gambar 1. Tipe Muara yang Didominasi Aliran Sungai

1.2.3 Kriteria Stabilitas Muara Sungai

Keberlangsungan muara dapat diuji dengan membandingkan antara volume air pasang surut (P) dan volume sedimen yang diangkut menyusuri pantai (S). Nilai tersebut dapat dijabarkan dengan cara ini.

- $P/S \geq 150$: Kondisi muara sangat bagus, sedikit tumpukan pasir dan penggelontorannya lancar. Potongan melintang di puncak ambang mulut menunjukkan campuran pasir dan lempung. Di bagian atasnya terdapat pasir kasar dan halus, serta lempung. Di tebing ambang alur, tampak tebing dengan campuran pasir dan lempung.
- $100 \leq P/S < 150$: Muara sungai terlihat tidak dalam keadaan yang baik karena terdapat tumpukan pasir di sana.

- c. $50 \leq P/S < 100$: Tumpukan pasir semakin besar, namun alur muara tetap mampu menembusnya.
- d. $20 \leq P/S < 50$: Meskipun mulut muara telah tertimbun pasir, namun muara masih beroperasi dengan baik berkat aliran air tawar dari sungai.

Sungai merupakan aliran air yang luas dan panjang yang terus mengalir dari hulu ke hilir. Sungai punya variasi jenis berdasarkan banyaknya air yang mengalir di dalamnya (Syarifuddin, 2000):

1. Sungai permanen ialah sungai yang ketersediaan airnya tidak berubah sepanjang tahun. Sungai tipe ini sering terlihat di daerah Kalimantan dan Sumatera, seperti Sungai Kapuas, Kahayan, Barito, dan Mahakam di Kalimantan, serta Sungai Musi dan Indragiri di Sumatera.
2. Sungai periodik adalah sungai yang memiliki jumlah air yang banyak saat musim hujan, tetapi sedikit saat musim kemarau. Misalnya, Sungai Progo, Code, Opak, dan Kalibayem.
3. Sungai Intermittent merupakan sungai yang airnya mengalir pada musim hujan namun kering saat kemarau.
4. Sungai Ephemeral adalah sungai yang hanya mengalir airnya saat musim hujan.

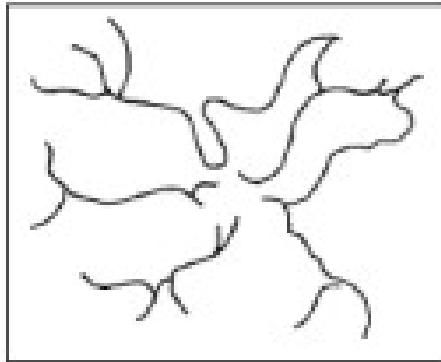
Antara kegunaan sungai yang lain ialah seperti berikut ini:

- a) Mentransportasi endapan yang terbentuk dari erosi seperti lumpur, pasir, kerikil, dan batu dari sumber sungai hingga ke muara sungai.
- b) Menyalurkan materi yang larut ke dalam aliran sungai
- c) Mengangkut es di wilayah dengan iklim subtropis;
- d) Sebagai lingkungan tempat tinggal berbagai makhluk hidup di air, seperti ikan, burung, serangga, dan tumbuhan air;
- e) Mengalirkan dan mengangkut air buangan alamiah dari wilayah aliran, terutama daun.

1.2.4 Pola Aliran

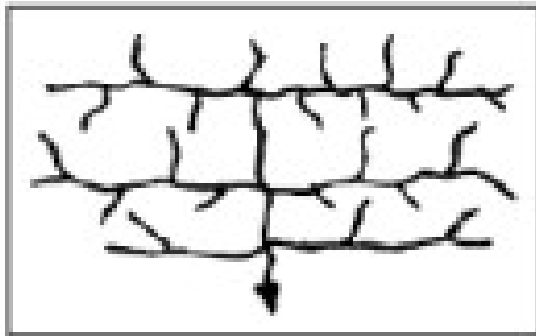
Pola aliran adalah tata letak organisasi atau keterkaitan spasial antara lembah-lembah, baik yang dilalui sungai maupun yang tidak. Pola aliran bisa dikenali dengan melihat garis yang menunjukkan cara aliran bergerak. Menurut para peneliti dalam Ardi (2010), terdapat berbagai macam pola aliran yang dapat diidentifikasi.

1. Dendritik: mirip dengan cabang pohon, cabangnya tumbuh tanpa pola tertentu dalam berbagai arah dan sudut. Tumbuh di lingkungan di mana batuan sejajar yang seragam serta tidak terpengaruh oleh struktur, umumnya terdapat pada batuan sedimen dengan lapisan mendatar, atau pada batuan beku dan kristalin yang seragam.



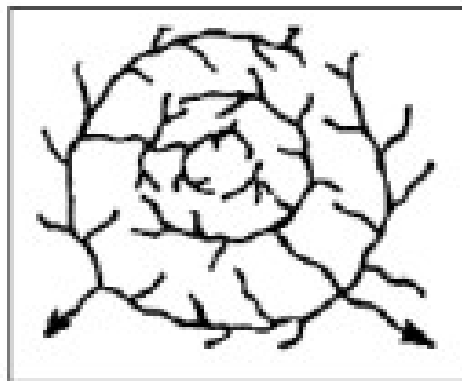
Gambar 2. Sungai Dendritik

2. Trellis: merupakan situasi di mana anak sungai kecil bergabung dengan sungai utama secara vertikal atau hampir vertikal, sementara sungai utama mengalir sejajar atau hampir sejajar satu sama lain. Muncul di batuan sedimen yang melengkung atau terangkat dengan karakter litologi yang saling bergantian antara yang halus dan kuat.



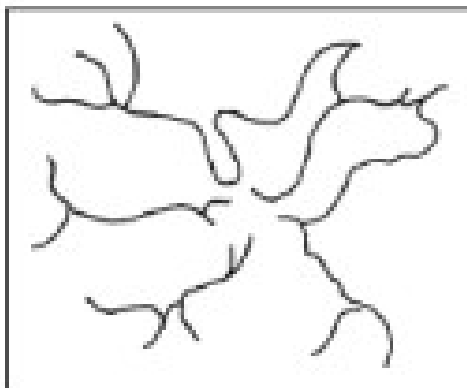
Gambar 3. Sungai Trellis

3. Annular: Sungai utama membentuk lingkaran yang disertai oleh cabang-cabang anak sungai yang bercabang dengan sudut hampir tegak lurus. Meningkatkan pertumbuhan di dalam dome dengan bergantian memanfaatkan batuan yang berpadu antara tekstur yang halus dan kasar.



Gambar 4. Sungai Annular

4. Centripetal: Sungai mengalir dengan indah, mengumpulkan air dari berbagai arah. Berkembang dalam kaldera atau bentuk cekungan yang terlindungi.



Gambar 5. Sungai Centripetal

5. Radial: Aliran sungai radial sentrifugal terbentuk dengan pola yang memancar ke segala arah ketika sungai mengalir dari bukit. Dalam sistem drainase radial, air mengalir keluar dari titik pusat yang terletak di elevasi tertinggi. Biasanya ditemukan bahwa pola aliran sungai ini merupakan karakteristik umum pada sungai yang terdapat di kawasan Gunung berapi. Pola radial terbentuk ketika aliran bergerak ke arah yang berbeda dari pusat yang menonjol.

Berbeda dengan arus sentripetal yang mengalir ke pusat, arus radial mengalir dari pusat dan membentuk cabang-cabang.

1. Rektangular: pola aliran sungai ini biasanya terjadi di wilayah di mana batuan terhubung membentuk pola persegi panjang. Pola aliran ini sering terlihat di sungai-sungai yang terletak di wilayah berbatu dengan batuan beku. Aliran utama berbelok di sudut kanan dan anak sungai bergabung di sudut kanan membentuk pola persegi panjang.

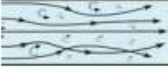
2. Herringbone: Pola drainase herringbone ini dikenal dengan sebutan pola tulang rusuk. Pola ineh kerap kali diketokeh di wilayah-wilayah gunung. Istilah pola herringbone diperoleh dari corak jalang ikan herring (terutama tulang punggung).
3. Paralel: Sungai-sungai dalam pola drainase paralel terbentuk sejajar satu sama lain sesuai dengan kontur alam. Pola ini cenderung lebih sering terlihat di daerah pantai yang baru terbentuk. Salah satu contoh drainase paralel yang terdapat di pesisir barat India terletak di dataran pantai, dimana aliran sungainya mengalir dari laut.

1.2.5 Klasifikasi Aliran

Menurut Triatmodjo (2015), terdapat beberapa jenis aliran air yang bisa dibedakan berdasarkan berbagai perspektif.

1. Aliran dipertimbangkan dari perspektif waktu
 - a) Aliran permanen ditandai dengan sifat-sifat seperti kedalaman, kecepatan, dan debit yang tetap atau konsisten tanpa berubah sepanjang waktu.
 - b) Aliran tidak permanen merujuk pada aliran yang variabel-variabelnya seperti kedalaman, kecepatan, dan debitnya senantiasa berubah atau tidak konstan.
2. Aliran ditinjau dari sisi arah aliran
 - a) Aliran seragam adalah aliran yang mempertahankan kelikasan, laju, dan jumlah aliran air tetap stabil sepanjang lintasan alirannya
 - b) Aliran yang tidak merata terjadi ketika variabel seperti kedalaman, kecepatan, dan debit aliran tidak tetap sepanjang jalur aliran atau cenderung berfluktuasi.
3. Jika kita melihat aliran dari sudut pandang nilai Bilangan Reynold (Re), kita akan menemui bahawa Re adalah jenis bilangan yang menerangkan perbandingan antara kelajuan purata dengan kelikatan kinematik. Aliran dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, sebagaimana yang tertera dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Aliran Berdasarkan Reynold

No	Jenis Aliran	Bil. Reynold	Sketsa
1	Laminer	<500	
2	Turbulen	>1000	
3	Transisi	$500 < Re < 1000$	

1.2.6 Morfologi Sungai

Pembahasan morfologi sungai membicarakan mengenai aspek bentuk, ukuran, jenis, sifat, dan perilaku sungai beserta segala perubahannya dalam kerangka

dimensi ruang dan waktu. Morfologi sungai ini juga melibatkan sifat dinamis sungai dan keterkaitannya yang erat dengan lingkungannya. Berdasarkan Rosgen (1996), terdapat sembilan jenis bentuk aliran sungai yang berbeda :

1. Tipe Sungai Kecil "Aa+"

Sungai jenis ini condong curam, dengan kemiringan melebihi 10%, proporsional lebar/kedalaman yang rendah, serta dasar sungai yang kebanyakan berbentuk cekungan aliran air terjun.

2. Tipe Sungai Kecil "A"

Sungai jenis ini mirip dengan sungai kecil "Aa+", yang mempunyai perbedaan pada kemiringan yang berkisar 4% hingga 10%.

3. Tipe Sungai Kecil "B"

Sungai tipe B ini memiliki saluran yang berparit, dengan rasio lebar/dalam yang lebih dari 2. Morfologi bentuk aliran sungai biasanya dipengaruhi oleh runtutan, yang menyebabkan sungai mengalir lebih kencang dan erosi tepi sungai menjadi kurang intensif.

4. Tipe Sungai Kecil "C"

Ciri utama bentuk morfologi tipe sungai ini meliputi saluran dengan landai, parit dangkal, rasio lebar/kedalaman yang besar (>12), serta daerah banjir yang berkembang.

5. Tipe Sungai Kecil "D"

Salah satu hal yang menarik dari sungai kecil "D" ialah tata letaknya yang istimewa, di mana saluran saling terhubung membentuk pola salur-saluran yang memukau. Sungainya punya rasio lebar per kedalaman yang amat tinggi (>40), sementara lerengnya condong sejajar dengan lereng lembah.

6. Tipe Sungai Kecil "DA"

Saluran sungai yang dikenal dengan singkatan "DA" ialah sistem jaringan saluran dengan kemiringan sungai yang sangat rendah, serta lebar saluran yang bervariasi di setiap bagian.

7. Tipe Sungai Kecil "E"

Sungai kecil tipe "E" adalah perkembangan lebih lanjut dari sungai kecil tipe "F". Sungai tipe "E" ini memiliki ciri alirannya yang lebih lebar, berparit, dan berkelok-kelok, terbentuk seiring dengan perbaikan lahan banjir serta proses pemulihan vegetasi dari alur sungai sebelumnya yang berjenis "F". Sungai kecil tipe "E" mempunyai ciri berparit sedikit, menunjukkan bahwa rasio lebar per kedalaman sungainya sangat tinggi, sehingga menciptakan nilai rasio lebar aliran tertinggi dibanding sungai lain.

8. Tipe Sungai Kecil "F"

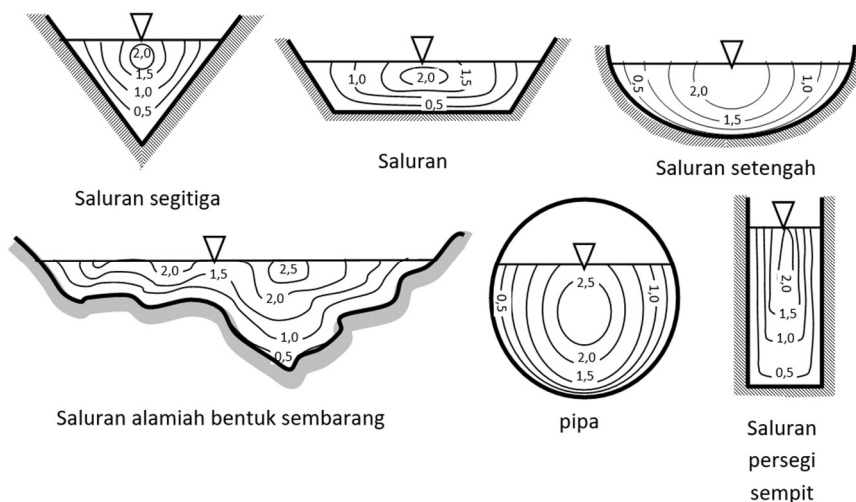
Sungai kecil tipe "F" adalah sebuah saluran berkeluk-luk dengan parit klasik yang memiliki elevasi rendah. Di dalamnya terdapat batuan yang sangat lapuk atau material yang rentan terhadap erosi. Ciri menarik Sungai Kecil "F" ialah rasio lebar dalam yang sungguh tinggi, serta lumpur yang terbentuk dengan cara yang sederhana.

9. Tipe Sungai Kecil "G"

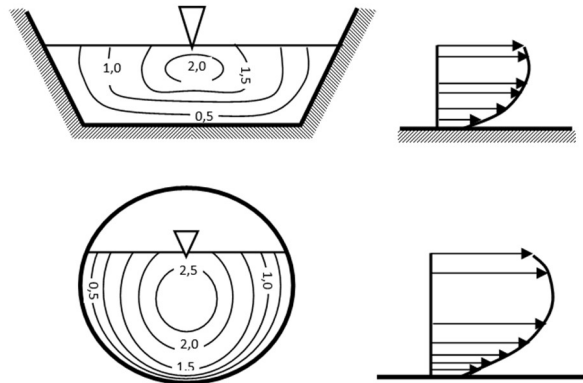
Sungai kecil "G" mempunyai saluran yang berbeda tingkatannya, dimana berparit, sempit, dan dalam, dengan kelokan yang bervariasi dari tinggi hingga sedang. Sungai yang disebut dengan tipe "G" menunjukkan tanda-tanda erosi tepi yang cepat, pasokan sedimen yang tinggi, lereng saluran yang bervariasi dari perlahan hingga curam, dan rasio lebar kedalaman saluran yang rendah. Suplai sedimen dan beban dasar telah dicatat berada pada tingkat yang tinggi, sementara laju sedimen terlarut mengalami peningkatan yang signifikan.

1.2.7 Saluran Terbuka

Tempat dimana air mengalir dengan muka air yang terbuka ialah saluran terbuka. Di setiap titik di sepanjang saluran, tekanan di permukaan air adalah seragam, biasanya sebesar tekanan atmosfer. Pengukuran kecepatan aliran bisa dilakukan dengan beragam cara, salah satunya adalah menggunakan alat pengukur arus (current meter) yang memperkirakan kecepatan rata-rata di sejumlah titik di saluran. Cara lain yang bisa digunakan adalah dengan memisahkan penampang saluran secara vertikal, dengan melibatkan pelampung yang digerakkan oleh aliran air untuk melacak pergerakan pada jarak tertentu, sehingga dapat mengevaluasi distribusi kecepatan secara menyeluruh.



Gambar 6. Penyebaran kecepatan di berbagai bentuk potongan melintang saluran



Gambar 7. Pola distribusi kecepatan bersifat tergantung pada kedalaman

Kecepatan jalur saluran diukur berdasarkan formula Manning yang memperhitungkan kemiringan saluran (S), Radius hidrolik disimbolkan dengan R , sedangkan koefisien kekasaran disimbolkan dengan n . Untuk unit metrik, nilai faktor konversinya adalah 1,0.

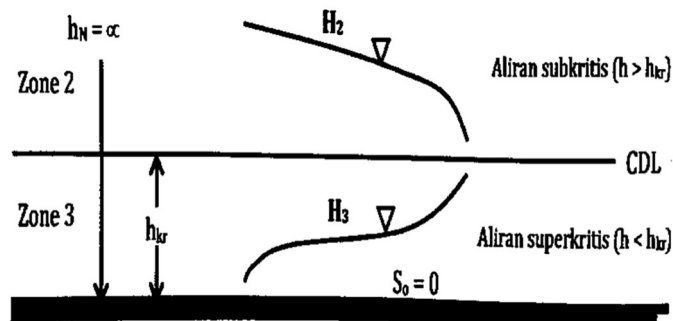
$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

dimana,

- V = Kecepatan rata-rata (m/s)
- n = Koefisien kekasaran Manning ($s/m^{1/3}$)
- R = Jari-jari hidrolik (m)
- S = Kemiringan dasar saluran

Ciri-ciri profil muka air untuk pelbagai kemiringan dasar saluran yang telah disebutkan di atas pada tahun 2018 ialah seperti berikut:

1. Profil-profil H (Horizontal), $S_0=0$ dan $h_N=\infty$

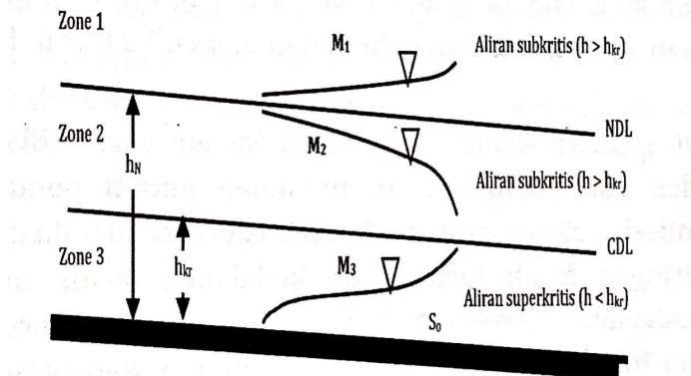


Gambar 8. Penyelidikan Profil Muka Air untuk Kemiringan Horizontal

Profil H adalah contoh yang terbatas dari profil M ketika dasar salurannya rata. Profil H_1 tidak pernah ada karena kedalaman normal h_N bersifat tak terhingga. Sambil itu, profil H_2 dan H_3 bersama profil M_2 dan M_3 .

2. Profil-profil M (*Mild*), $S_o < S_{kr}$ dan $h_N > h_{kr}$

Profil M_1 termasyhur sebagai lengkung air balik yang paling terkenal. Profil ini ditemui di saluran dengan kemiringan dasar yang sangat landai, yang mengakibatkan adanya pengendapan di bagian hilir karena adanya tanggul, belokan, atau hambatan lain, sehingga kedalaman airnya lebih dari yang biasa.

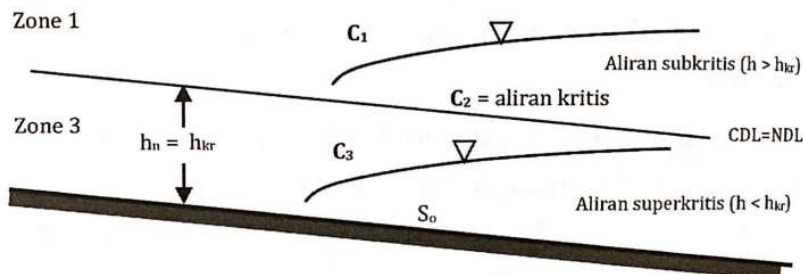


Gambar 9. Profil Muka Air Pada Kurva M (*Mild Slope*)

Profil M_2 terbentuk di saluran dengan dasar landai, dimana kedalaman air di bagian hilir saluran lebih rendah dari kedalaman standarnya. Profil ini mungkin terbentuk ketika alas saluran mengalami berbagai perubahan, mulai dari landai hingga curam atau terjal, atau ketika ada penyesuaian pada bentuk saluran, seperti di tempat sungai bertemu laut atau saat sungai memasuki waduk. Saat aliran superkritis dari hulu mengalir ke saluran dengan dasar yang cenderung landai, profil M_3 terbentuk. Profil ini akan terputus di bagian bawah karena ada loncatan air.

3. Profil-profil C (*Critical*), $S_o = S_{kr}$ dan $h_N = h_{kr}$

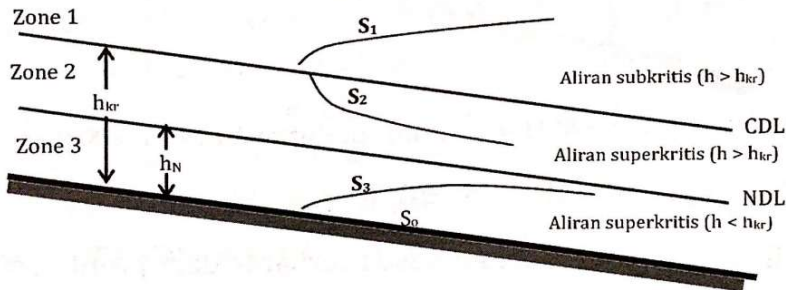
Profil-profil C menggambarkan keadaan peralihan antara profil M dan profil S. Profil C_1 dan C_3 melengkung ke arah horizontal. Profil C_2 menggambarkan situasi aliran yang seragam pada kondisi kritis, dengan profil sejajar antara garis kedalaman kritis dan normal.



Gambar 10. Profil Muka Air pada Kurva C (*Critical Slope*)

4. Profil-profil S (Steep), $S_0 > S_{kr}$ dan $h_N < h_{kr}$

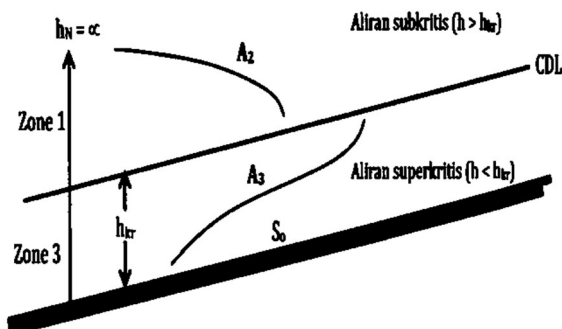
Mungkin ada pembentukan Profil S_1 di atas bendungan dengan saluran curam, atau di atas pintu geser vertikal, dan juga di saluran curam yang mengarah ke waduk dengan permukaan air yang tinggi. Profil ini dimulai dengan meloncat di bagian atasnya sebelum merata di bagian bawahnya.



Gambar 11. Profil Muka Air untuk Kurva S (Steep Slope)

Profil S_2 merupakan lengkungan permukaan air yang bergerak mengalir. Profil ini dimulai dari bagian atas dengan tingkat kemiringan yang curam pada kedalaman yang signifikan dan berlanjut ke kedalaman biasa di bagian bawahnya. Profil ini biasanya terbentuk di area di mana lebar saluran membesar di bagian bawahnya, dan/atau saat kecenderungan curam berubah menjadi lebih curam. Profil S_3 berlaku ketika aliran berada dalam keadaan superkritis di antara dasar saluran dan kedalaman biasa. Profil ini mungkin muncul ketika bagian lereng yang curam berubah menjadi lebih landai, atau ketika lereng curam bermuara di saluran pembuangan yang lebih dangkal dari kedalaman biasa pada topografi kemiringan curam.

5. Profil-profil A (Adverse), $S_0 < 0$



Gambar 12. Profil Muka Air untuk Kurva A (Adverse Slope)

Profil-profil A adalah situasi yang kurang umum dalam kehidupan sehari-hari. Profil A_1 tidak dapat dibuat karena nilai h_N tidak berada dalam domain bilangan real. Profil A_2 cocok dengan profil M_2 , sedangkan profil A_3 sesuai dengan profil M_3 . Profil A_2 akan muncul saat pelimpah dipasang di bagian bawah lereng yang cenderung

tidak terlalu curam. Profil A3 dapat dipasang pada kemiringan tanah yang naik dengan pintu geser vertikal.

1.2.8 MIKE 21

MIKE 21 merupakan perisian unggul yang digunakan untuk membuat model dalam pelbagai bidang seperti hidrodinamik, gelombang, dinamika sediment, kualiti air, dan ekologi dalam dimensi 2D. Software ini terkenal sebagai alat profesional yang memiliki tingkat keandalan, kualitas, dan keserbagunaan yang tinggi. Dalam penelitian ini, kita akan menggunakan perangkat lunak Mike 21 untuk menjelajahi muara sungai Palu. Tujuannya adalah untuk mempelajari bagaimana pola arus terbentuk akibat interaksi antara aliran sungai dan pasang surut air laut. Produk perangkat lunak MIKE Powered by DHI telah dipakai di berbagai tempat air di seantero dunia. Banyak profesional telah memilih perangkat lunak MIKE sebagai solusi untuk menangani berbagai masalah sulit dan kompleks di sejumlah sektor, seperti di lautan, garis pantai, sungai, waduk, ekologi, air tanah, distribusi air, air limbah, dan bidang lainnya. DHI, Mike 21, 2022.

Model alir MIKE Flow terdiri dari beberapa modul, di antaranya *Hydrodynamic Module*, *Transport Module*, *ECO Lab*, *Particle Tracking Module*, dan *Sand Transport Module* (DHI). Sementara itu, MIKE sendiri mempunyai tiga modul dasar, yakni modul Hidrodinamika (HD), modul *advection dispersion* (AD), dan modul turbulence. Dalam penelitian ini, hanya digunakan modul hydrodynamic untuk memodelkan data penelitian yang ada.

Modul Hidrodinamika ialah satu komponen program MIKE. Modul Hidrodinamika (HD) adalah suatu model matematik yang dibuat untuk mengkaji bagaimana air merespons pada gaya-gaya eksternal tertentu, seperti pengaruh angin dan fluktuasi permukaan air yang diberlakukan pada tepiannya. Modul Hidrodinamika dipakai untuk mensimulasikan variasi permukaan air dan aliran air yang timbul akibat berbagai gaya eksternal di berbagai lingkungan, seperti danau, sungai, estuari, dan pesisir. Modul hidrodinamika ini menghitung aliran, distribusi garam, dan suhu yang cocok dengan berbagai gaya dan kondisi batas.

Modul Hydrodynamic disusun dengan menggunakan penyelesaian numerik dari persamaan Reynolds tiga dimensi yang bersifat incompressible, menerapkan persamaan Navier-Stokes. Asumsi Boussinesq serta tekanan hidrostatik tetap diperhitungkan. Model ini melibatkan persamaan momentum, kekontinuanan, suhu stabil, kandungan garam, dan densitas, dengan pemanfaatan skema turbulen. Dalam model ini, densitas tidak bermacam-macam berdasarkan tekanan, tetapi hanya oleh suhu dan salinitas. Persamaan ini dinyatakan dalam koordinat Cartesian dan berasal dari sumber DHI.

Persamaan kontinuitas diformulasikan:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

Persamaan momentum untuk dua dimensi untuk komponen y dan komponen x adalah seperti berikut ini:

Pada arah x,

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} \quad (3)$$

Pada arah y,

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial hvu}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} \quad (4)$$

Dimana:

- t = Waktu (s)
- x, y, z = Koordinat Caetesian
- u, v, w = Komponen kecepatan aliran
- h = Kedalaman air (m)
- η = Pasang Surut (m)
- g = Gravitasi bumi (m/s^2)

1.2.9 Root Mean Square Error

Kriteria yang digunakan untuk menilai sejauh mana model telah mengalami kesalahan terhadap data yang diperoleh di lapangan adalah root mean square error (RMSE). RMSE merupakan satu formula yang berasaskan kepada kesilapan output model yang telah dibangunkan. Error yang terjadi menunjukkan sejauh mana perbedaan antara hasil model dengan nilai sebenarnya. Angka ini akan digunakan untuk menentukan tingkat kesalahan pada model. RMSE formula can be expressed as this:

$$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f(x_i) - y_i|^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

dimana,

RMSE = *Root Mean Square Error*

n = Jumlah Sampel

xi = Nilai Aktual

yi = Nilai Prediksi

1.2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh penulis untuk mendapatkan materi perbandingan dan referensi yang dapat menambah kaya materi penulisan, sehingga penulis dapat lebih fokus pada cara menyelesaikan masalah yang dikembangkan.

Penelitian sebelumnya memberikan referensi berupa analisis pola aliran, opsi perhitungan alternatif, dan kesamaan kondisi atau karakter lokasi, yang dapat

memperluas penelitian yang sedang dilakukan penulis. Meskipun begitu, penelitian sebelumnya dengan judul atau tujuan serupa mungkin memiliki perbedaan dalam kondisi objek penelitian, metode perhitungan, atau skenario penanganan masalah yang disebabkan oleh karakteristik lokasi yang berbeda. Kolaborasi berbagai referensi diharapkan mampu memberikan referensi yang komprehensif. Studi sebelumnya telah menyelidiki pola aliran di daerah sungai-sungai:

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Penulis, Tahun	Tujuan	Metode	Hasil	GAP Analisis
1	Preliminary modeling of characteristics of current and batimetry in the condluence of Mahakam River and Karang Mumus river	Nur, Mukhsan Putra Hatta, Muh. Arsyad Thaha, D. A. Suriamihardja. (2019).	Menyandingkan kontur sungai yang diukur dengan peta batimetri dari Dishidros TNI AL serta arus, pola aliran vertikal, dan horisontall.	Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan metode kuantitatif. Penelitian telah dilakukan pada tanggal 21-22 Januari 2019 ketika terjadi pasang laut besar. Data yang digunakan meliputi informasi mengenai kecepatan dan arah arus, kedalaman laut, serta peta batimetri dari Hishidros TNI AL. Penggunaan perangkat lunak Surfer 1 untuk distribusi arus vertikal dan horizontal1.	Arus di tempat bertemunya sungai Mahakan dan sungai Karang Mumus senantiasa dipengaruhi oleh pasang surut dan jumlah air yang mengalir, yang mungkin berakibat pada pergerakan air.	Penerapan metode simulasi komputasi pola arus melibatkan penggunaan perangkat lunak yang mempertimbangkan perbedaan serta aspek geografisnya.
2	2D modeling of current patterns and sediment patterns on	AID Puspita, Muh. Arsyad Thaha, B Hidayah (2022)	Mencari tata arus air dan pola penimbunan sedimen di tepi Pasir, khususnya	Pemodelan dua dimensi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak	Fluktuasi kecepatan arus tidak terlalu berarti dikarenakan kecepatannya yang rendah. Peningkatan	Ada perbedaan dalam pendekatan teknis antara metode simulasi komputasi pola arus yang menggunakan

	Pasir Beach, Kebumen		daerah Pelabuhan yang digunakan untuk penangkapan ikan, menggunakan teknik pemodelan 2D.	RMA2 dan SED2D. Mencoba memvisualisasikan bagaimana konsentrasi sedimen menyebar di sekitar Pelabuhan selama 10 hari.	kecepatan arus terutama dipengaruhi oleh lebar mulut Pelabuhan yang sempit, sehingga aliran air akan menyebar secara keseluruhan, termasuk kecepatannya.	perangkat lunak tertentu, dan penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola sedimentasi yang muncul sebagai hasil dari metode tersebut.
3	A 2D numerical model of salinity distribution pattern on the estuary of Jeneberang River	Riswal Kamma, Muhammad Saleh Pallu, Muh. Arsyad Thaha, Mukhsan Putra Hatta. (2020)	Menyelidiki bagaimana garam terdistribusi di muara Sungai Jeneberang melalui penggunaan pemodelan numerik 2 dimensi.	Penelitian ini menjalankan model numerik guna memahami dinamika dan karakteristik air di sungai Jeneberang saat musim kemarau. Sebelum melakukan pemodelan numerik, kita mengukur pasang surut, kecepatan aliran, suhu, dan salinitas untuk menggambarkan secara akurat sirkulasi aliran pasang surut.	Dipresentasikan oleh model adalah adanya penurunan tingkat salinitas di bagian bawah muara Sungai Jeneberang. Bagian bawah sungai memiliki tingkat salinitas antara 34,5 PSU hingga 35 PSU, menunjukkan pola salinitas yang berubah-ubah.	Mengetahui dinamika dan karakteristik perairan muara serta geografisnya menggunakan metode simulasi komputasi.
4	Spatial mapping of water mass structure in the estuary of	R Kamma, Muhammad Saleh Pallu, Muh. Arsyad Thaha,	Menyaksikan bagaimana pasang surut memengaruhi stratifikasi dan distribusi struktur	Studi lapangan dibandingkan dengan model komputasi. Pengukuran pasang surut, bathimetri,	Ada hubungan antara densitas dan suhu pada kecepatan, di mana terdapat kecenderungan peningkatan kedalaman	Terdapat perbedaan dalam tujuan, penggunaan instrument penelitian, dan geografisnya.

	Jeneberang River	Mukhsan Putra Hatta, and Muhammad Ihsan (2021).	massa air di Muara Sungai Jeneberang, serta daerah pencampuran yang terjadi di sana.	salinitas, temperatur, densitas, dan kecepatan dijalankan di kawasan penelitian.	lapisan campuran sebagai hasil dari kecepatan yang tinggi. Faktor yang sangat memengaruhi tingkat kepadatan saat air pasang tinggi dan surut tinggi adalah salinitas.	
5	Study of the characteristics of the sea water zone of the estuary zone on the coast of Makassar	Mukhsan Putra Hatta (2018)	Menyampaikan informasi tentang distribusi suhu, kandungan garam, klorofil-a, dan kejernihan air	Penelitian dilakukan dengan menggunakan alat CTD. Pengamatan dilaksanakan pada tanggal 7 dan 8 Agustus tahun 2016. Di sekitar pantai Makassar, terdapat 50 titik.	Salinitas rendah hanya terjadi di dekat mulut sungai. Klorofil-a di perairan bagian utara tinggi. Kekeruhan paling tinggi ditemukan di dasar laut dekat muara sungai.	Perbedaan antara tujuan, penggunaan instrumen penelitian, dan geografis.
6	Hydrodynamic analysis at the confluence of the Mahakam River and the Karang Mumus tributary	Nur, D. A. Suriamihardja, M. A. Thaha, and M. P. Hatta (2021)	Memodelkan pola sebaran massa air dengan memperhitungkan debit di bagian hulu serta elevasi pasang surut di daerah hilir.	Penelitian ini telah dilaksanakan di lokasi lapangan, dengan pengumpulan data observasi yang menjadi dasar penting dalam proses simulasi numerik. Pengukuran pasang dilaksanakan selama 15 hari, yakni pada tanggal 14 hingga 28 Juli 2018.	Intrusi salinitas berlaku di tempat di mana sungai Mahakam dan anak sungai Karang Mumus bertemu, yakni 60 km dari laut terbuka. Nilai minimum terdapat di rentang 0,065 hingga 0,240 PSU	Pada penggunaan perangkat lunak untuk simulasi komputasi pola arus, terlihat variasi dalam tujuan serta konteks geografis yang digunakan.

7	Pemodelan pola arus di Kawasan pesisir Pantai Kawal Kabupaten Bintan	Iqbal Faiz Sarmada, Yales Veva Jaya, Risandi Dwirama Putra, Mario Putra Suhana. (2018)	Mengamati pola arus laut yang dipengaruhi oleh pasang surut dan angin, serta menganalisis fenomena arus di sekitar wilayah pesisir pantai Kawal.	Pemodelan arus dilakukan selama 5 hari dengan menggunakan software Mike 21 dengan memasukan parameter angin, pasang surut sebagai gaya pembangkit pemodelan arus.	Arus di kawasan pesisir Pantai Kawal tergolong arus Pasang Surut. Pergerakan arus pada saat pasang cenderung menuju ke arah selatan – Barat Daya, sedangkan pada saat surut pola pergerakan arus mengarah ke bagian utara. Kondisi arus pada saat menuju pasang tertinggi berkisar antara 0.6 – 1.80 m/s dan relative sama dengan kondisi arus saat menuju surut terendah dengan nilai kecepatan antara 0.4 – 1.80 m/s.	Ada perbedaan antara instrumen yang digunakan dalam penelitian, metode penelitian, dan lokasi geografis penelitian.
8	Pola pergerakan aliran di muara sungai musi dengan program Mike 21 flow model	Achmad Syarifudin, Eka Puji Agustini. (2015)	Menganalisis pola pergerakan aliran di muara Sungai Musi	Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan model perangkat lunak Mike 21 Flow Model	Pergerakan aliran sungai, seperti arah dan kecepatan arus, serta model hidrodinamika kedalaman sungai, diamati mulai dari ambang luar hingga ke daerah sungai Musi yang terpengaruh oleh pasang surut air.	Perbedaan dalam cara penelitian dilakukan, jenis alat yang digunakan, dan lokasi geografis penelitian dilaksanakan.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

2.1.1 Lokasi

Lokasi penelitian ini akan dilakukan di Sungai Maro, Kabupaten Merauke.



Gambar 13. Lokasi Penelitian Sungai Maro Kabupaten Merauke

2.2.1 Waktu

Simulasi pola aliran sungai Maro Kabupaten Merauke dilaksanakan mulai tanggal 17 Desember 2021 hingga 04 Januari 2022.

2.2 Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis, current meter, laptop (lengkap dengan *Microsoft Office 2020*, *Autocad 2020*, *Google Earth*, *iRIC*), meteran, GPS Handheld Garmin, GPS Geodetik, rambu ukur, dan kamera

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- a. Data primer mencakup data Topografi, data Bathimetri, dan data kecepatan aliran sungai Maro
- b. Data sekunder yang terdiri dari data pasang surut, data Model Elevasi Digital (DEM), serta data-data pendukung lainnya.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Agar data yang diperoleh akurat, pengumpulan data dilakukan menggunakan beberapa metode berbeda ;

2.3.1 Pengamatan Tinggi Muka Air

1. Pengamatan muka air dilakukan selama 2 minggu untuk mendapatkan informasi tentang pasang surut dan debit aliran, termasuk periode pasang purnama (Spring Tide) dan pasang perbani (Neap Tide). Data ini menjadi input penting dalam pengembangan model matematik. Dari analisis data tersebut, kita akan mendapatkan perkiraan pasang surut serta tinggi air rata-rata, tinggi air maksimum pada air pasang purnama, dan tinggi air minimum pada air pasang perbukitan. Pengukuran ini dilakukan dengan memanfaatkan metode AWLR. Elevasi dasar AWLR perlu dihubungkan dengan suatu datum referensi yang tepat.
2. Melihat sejalan ketinggian air di tempat di mana sungai bertemu dengan laut dan di sumber sungai (lokasi pengukuran). Melakukan pengamatan pasang surut secara bersamaan ketika melakukan pengukuran pasang surut. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan rambatan pasang surut dan pola intrusi air laut. Pengamatannya dilakukan menggunakan AWLR.

2.3.2 Pengukuran Kecepatan Aliran

Pengukuran kecepatan aliran dapat diukur dengan alat bernama current meter. Ada tiga jenis metode untuk mengukur kecepatan aliran, yakni:

1. Mengukur kecepatan aliran pada satu titik, dilakukan di penampang melintang di setiap lokasi. Tujuan kami adalah untuk mendapatkan titik representatif pengukuran kecepatan aliran. Titik wakil akan dipakai untuk mendapat kecepatan arus ketika dilakukan pengukuran secara bersamaan. Pengukuran kecepatan akan dilakukan di tiga titik yang tersebar sepanjang kedalaman aliran sungai. Selain itu, untuk sungai yang lebar akan dilakukan pengukuran kecepatan distribusi lateral sungai.
2. Pengamatan kecepatan aliran telah dilakukan selama 26 jam secara bersamaan di beberapa titik utama. Tujuan kami adalah untuk mendapatkan data yang diperlukan guna mengetahui kecepatan rambatan pasang surut serta pola intrusi. Mengukur kecepatan arus selama 26 jam dengan selang waktu 1 (satu) jam saat air laut naik tinggi purnama (*spring tide*) dan rendah perbani (*neap tide*) secara bersamaan.
3. Pengukuran arus menggunakan alat *current meter* tetap (*stationer*).

2.3.3 Dokumentasi

Informasi juga dapat diperoleh melalui fakta yang terdokumentasikan, seperti surat, catatan harian, koleksi foto, jurnal kegiatan, dan sebagainya. Data dalam bentuk dokumentasi ini mendukung keabsahan penelitian yang dilakukan oleh Peneliti.

2.3.4 Wawancara

Wawancara merupakan pertemuan antara dua individu guna bertukar informasi dan ide melalui tanya jawab, menghasilkan pemahaman mendalam dalam suatu topik. Melalui wawancara, peneliti dapat memperoleh wawasan yang lebih dalam tentang partisipasi dalam menginterpretasikan situasi dan fenomena yang tidak dapat terungkap melalui observasi. Sugiono (2009).

2.3.5 Pengolahan Data

Langkah pertama dalam proses pemodelan ialah melakukan pengolahan data. Setelah semua data dikumpulkan, langkah berikutnya adalah membuat mesh dengan memasukkan data garis pantai dan batimetri dalam format *.xyz untuk mendapatkan titik koordinat yang diperlukan dalam penggambaran batimetri menggunakan modul generator mesh mike zero. Selanjutnya menetapkan kondisi batas wilayah penelitian untuk memungkinkan dilakukannya proses meshing. Data batimetri tersimpan dalam format *.mesh.

2.3.6 Pemodelan Pola Arus

Simulasi pola arus menggunakan perangkat lunak MIKE Zero dengan memanfaatkan modul hidrodinamika. Saat melakukan simulasi, ada beberapa opsi yang perlu disesuaikan, seperti Domain, Time, dan Module Selection. Domain merujuk kepada pemodelan kedalaman dari kawasan yang diselidiki yang tergambar dalam format *.mesh yang telah dicipta sebelum ini. Waktu melibatkan pengaturan waktu untuk simulasi, termasuk titik awal dan akhir simulasi, serta jangka waktu yang diinginkan. Module Selection penting untuk menentukan modul yang akan digunakan dalam simulasi. Dalam hal penelitian ini, modul Hydrodinamika digunakan karena menitikberatkan pada simulasi hidrodinamika.

Untuk menyelesaikan penelitian ini, perlu dilakukan beberapa tahapan proses pengerjaannya. Sesuai dengan yang telah disebutkan, tahap pertama adalah ketika data lingkungan terkait dengan keadaan Sungai Maro diolah. Data lingkungan yang dimaksud meliputi data pasang surut dan data batimetri sehingga dilakukan simulasi hidrodinamika.

Parameter yang digunakan dalam simulasi hidrodinamika dengan bantuan perangkat lunak MIKE Zero modul Hidrodinamika melibatkan penginputan data mesh bersama kondisi batas yang termasuk batimetri, data time series pasang surut, dan data debit sungai. Hal ini akan menghasilkan output berupa kecepatan arus dan arah arus dalam bentuk deretan area.

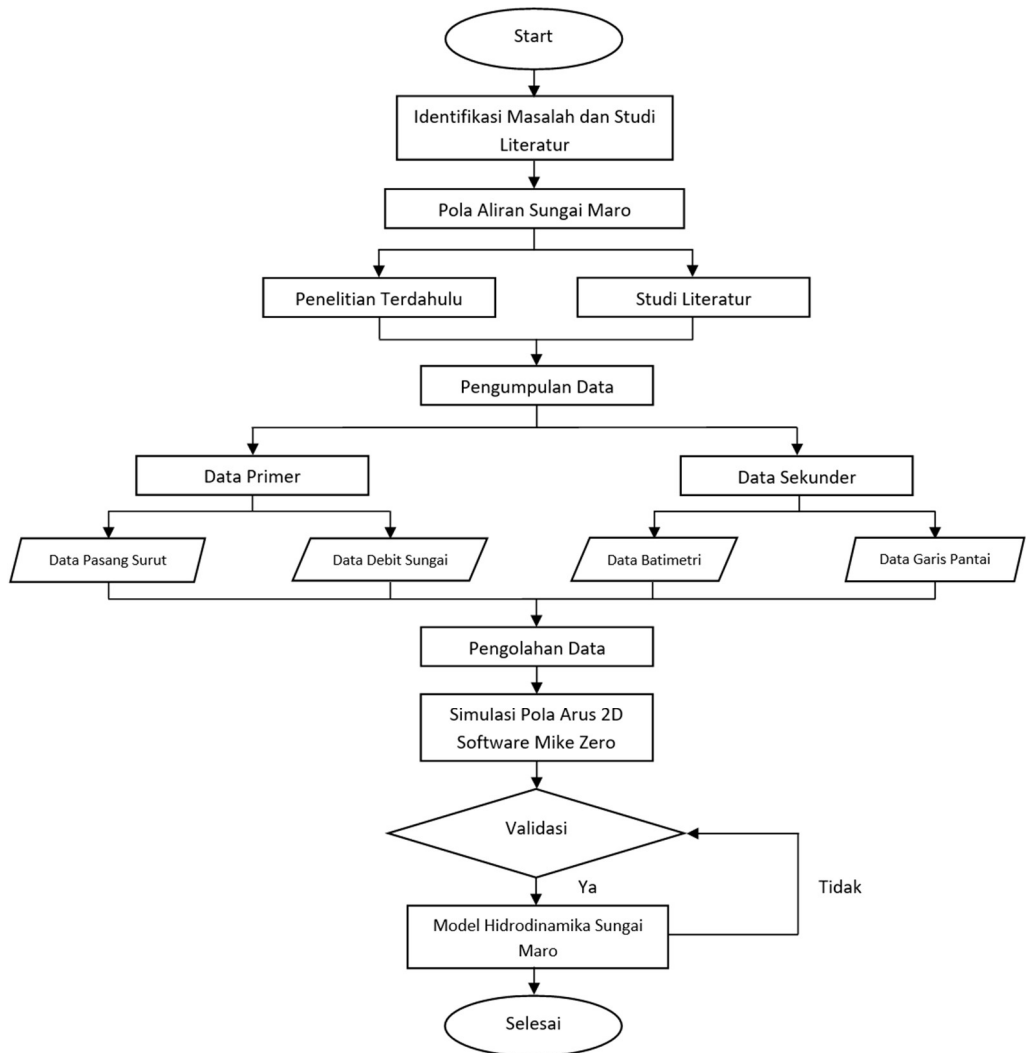
Parameter simulasi arus:

- a. Lama Simulasi :16 hari, dimulai dari tanggal 17 Desember 2021 sampai dengan 04 Januari 2022.
- b. Banyaknya time step: 382
- c. Interval Waktu: 3600 detik (1 jam)
- d. Output Simulasi: 382 jam

- e. Input Data: Data mesh kondisi batas dengan kedalaman, data time series pasang surut, dan data debit sungai.
- f. Flood and Dry: Dikarenakan model berlokasi di wilayah yang sering mengalami banjir dan kekeringan, maka model ini menggunakan metode standar banjir dan kekeringan. Apabila kedalaman air kurang dari kedalaman basahnya, evaluasi akan dilakukan kembali. Flooding depth diperlukan untuk menetapkan elemen yang terendam (harus dimasukkan kembali ke dalam perhitungan simulasi).
 - Drying depth, kedalaman dianggap kering: 0.005 m
 - Flooding depth, kedalaman diperhitungkan lagi: 0.05 m
 - Wetting depth, kedalaman dianggap basah: 0.1 m
- g. Boundary Condition:
 - Bc 0 : Daratan
 - Bc 2 : Nilai debit sungai
 - Bc 3 : Data pasang surut
- h. Parameter yang tidak disebutkan mengikuti nilai dari default.

Pemodelan arus ditiadakan dalam simulasi dengan rentang waktu per jam selama 16 hari. Perubahan dalam model tersebut digambarkan dengan perbedaan warna untuk mempermudah pengamatan dan analisis terhadap aliran di wilayah penelitian. Penelitian ini melibatkan pemodelan terhadap tiga kondisi debit yang diperoleh dari pengukuran lapangan.

2.4 Bagan Alir



Gambar 14. Bagan Alir Penelitian