

TUGAS AKHIR

**PEMODELAN ARUS & SALINITAS PADA ZONA ESTUARY
SUNGAI TALLO**

***FLOW AND SALINITY MODELING IN THE ESTUARY ZONE
OF TALLO RIVER***

**DANIEL PAUL SALURAPA BATTI
D111 16 318**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)
PEMODELAN ARUS DAN SALINITAS PADA ZONA ESTUARY SUNGAI TALLO

Disusun dan diajukan oleh:

DANIEL PAUL SALURAPA BATTI

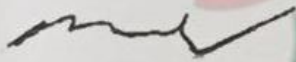
D111 16 318

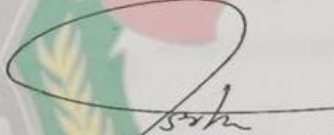
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 10 Maret 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,


Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Dr. Riswal Karamma, ST,MT
NIP. 196404221993031001


Andi Subhan Mustari ST, M.Eng
NIP. 197204242000122001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. H. M. Wibardi Tjaronge, ST, M.Eng
Nip. 196805292002121002



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Daniel Paul Salurapa Batti dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**PEMODELAN ARUS & SALINITAS PADA ZONA ESTUARY SUNGAI TALLO**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, Mei 2021

Yang membuat pernyataan,



Day Pall
Daniel Paul Salurapa Batti

NIM: D111 16 318

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan yang maha esa, atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul, ” **PEMODELAN ARUS & SALINITAS PADA ZONA ESTUARY SUNGAI TALLO**” sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dengan program iRIC dan dilakukan selama masa pandemic COVID-19.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk, saran dan perhatian dari berbagai pihak hingga terselesaikan. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Dr. Ir. Riswal K, ST., MT.** selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing, mengarahkan dan memberikan saran serta dukungan untuk menyelesaikan penelitian ini.
4. **Bapak Andi Subhan Mustari, ST., M,Eng** selaku dosen pembimbing II dan dosen penasehat akademik yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing, mengarahkan dan memberikan saran serta dukungan untuk menyelesaikan penelitian ini.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf dan asisten Laboratorium Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Yang teristimewa dipersembahkan kepada

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu Papa **Berty Batti** dan Ibu **Gemini R. Salurapa** atas doa, kasih sayang dan segala dukungan dalam segi moral, spiritual, maupun materi yang telah diberikan sampai saat ini.
2. Kakak tercinta **Rinoldy** dan **Geraldi Joshua** yang selalu memberi motivasi dan dorongan dalam membantu penyelesaian studi dan tugas akhir ini
3. **Yogie, Aldo, Afdhal, Hanif, teman” KMKO** sebagai sahabat dekat, pemerhati dan pemberi dukungan dalam menghadapi kesulitan selama berada di luar kampus.
4. **Gary, Gian, Celvyn, Hanif, Wiya**, sebagai teman dekat yang selalu memberi dukungan dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini
5. **Kak Eca dan Kak Nute**, yang banyak membantu dan membimbing saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini
6. **Teman-teman KMKO** yang telah memberi banyak pengalaman dan kenangan.
7. Rekan-rekan **se-KKD Keairan Angkatan 2016** yang selalu memberi semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini
8. Saudara-saudari **PATRON 2017** yang selalu memberikan warna baru, pengalaman, dukungan dan semangat dalam masa mahasiswa

Penulis menyadari bahwa adanya kekurangan pada karya ini, kiranya pembaca dapat memberikan masukan dan saran untuk kesempurnaan dan pembaharuan karya ini. Akhirnya kiranya tulisan ini dapat menjadi manfaat bagi kita semua khususnya di bidang Teknik Sipil

Makassar, 1 January 2021

Penulis

ABSTRAK

Sungai Tallo merupakan kawasan yang telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk transportasi, perikanan dan lain sebagainya. Perairan tersebut merupakan daerah peralihan antara daratan dan laut lepas, sehingga terjadi interaksi antara keduanya. Di era teknologi yang berkembang pesat sekarang ini sudah banyak aplikasi-aplikasi praktis yang membantu dalam permodelanda dan simulasi khususnya di bidang teknik keairan, seperti software Mike Zero. Tujuan dari penelitian ini adalah memodelkan pola arus yang terjadi di muara Sungai Tallo, dan mengetahui sebaran salinitas pada daerah muara Sungai Tallo Makassar. Hasil simulasi pola aliran pada *software* MIKE 21 yaitu kecepatan arus pada daerah estuary pada saat pasang berkisar antara 0.008 m/s – 0.072 m/s, dengan arah arus mengarah ke timur laut dan arah vector masuk ke sungai. sedangkan kecepatan arus pada daerah estuary pada saat surut berkisar antara 0.008 m/s – 0.024 m/s dengan arah arus mengarah ke timur laut, dan vector mengarah keluar ke laut. Dan kadar garam/salinitas pada daerah laut lebih tinggi dari pada kadar salinitas pada daerah sungai yang berkisar antara 15-21 sedangkan pada daerah laut kadar salinitas berkisar antara 22 – 27. Suhu pada daerah laut lebih rendah dibandingkan pada daerah sungai dimana berkisar 32.4°C – 32.8°C pada daerah sungai dan sekitar 30.0°C – 31.2°C pada daerah laut.

Kata Kunci : Mike Zero, Mike 21, estuary, muara Sungai Tallo.

ABSTRACT

The Tallo River is an area that has long been used by the surrounding community for transportation, fisheries and so on. These waters are an intermediate area between land and open seas, so that there is an interaction between. In today's rapidly developing technology era, there are many practical applications that help in modeling and simulating the field of water engineering, such as the Mike Zero software. The purpose of this study is to model the current patterns that occur in the waters of the Tallo river / Tallo coast at high tide and low tide conditions. and see the salinity distribution of the estuary (downstream) and sea (middle river) of the Tallo Makassar River. The simulation results of flow patterns on the MIKE 21 software are that the current velocity in the estuary area at high tide ranges from 0.008 m / s - 0.072 m / s, with the current direction to the northeast and the direction of the vector entering the river. while the current velocity in the estuary area at low tide ranges from 0.008 m / s - 0.024 m / s with the current direction to the northeast, and the vector points out to the sea. And the salt / salinity level in the sea area is higher than the salinity level in the river area which ranges from 15-21 while in the sea area the salinity level ranges from 22-27. The temperature in the sea area is lower than in the river area where it ranges from 32.4 ° C - 32.8 ° C in river areas and around 30.0°C - 31.2°C in sea areas.

Keywords: Mike Zero, Mike 21, Tallo River estuary.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUT.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat	3
E. Batasan Masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Estuary	6
B. Pasang Surut.....	8
C. Arus	11
D. Salinitas	12
E. Pemodelan dan Metode Numerik	15
F. <i>Software</i> Mikro Zero	15
G.. Penelitian Terdahulu	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	23
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	23
B. Pengumpulan Data.....	23
C. Prosedur Penelitian	24
D. Bagan Alir Penelitian	54

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
A. Karakteristik Daerah Estuary Sungai Tallo	55
B. Karakteristik Pasang Surut	56
C. Simulasi Karakteristik Pola Arus.....	59
D. Simulasi Kadar Salinitas.....	63
BAB 5. PENUTUP	67
A. Kesimpulan.....	67
B. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Sistem Estuari.....	7
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	19
Gambar 3.2. Hasil Running Data Batimetri.....	21
Gambar 3.3. Grafik Pasang Surut Sungai Tallo Makassar.....	22
Gambar 3.4. Hasil input data angin pada Software Mike Zero.....	23
Gambar 3.5. Lokasi titik pengambilan data Salinitas Sungai Tallo.....	23
Gambar 3.6. Pembuatan New Project.....	26
Gambar 3.7. Pembuatan Mesh Generator.....	26
Gambar 3.8. Pemilihan Lokasi data lingkungan/proyeksi peta.....	27
Gambar 3.9. Impor data shoreline.....	27
Gambar 3.10. Penginputan file .xyz shoreline.....	28
Gambar 3.11. Boundary Properties.....	28
Gambar 3.12. Shoreline yang belum di rapikan.....	28
Gambar 3.13. Shoreline yang telah di rapikan.....	29
Gambar 3.14. Import data bathimetri.....	29
Gambar 3.15. Tampilan import scatter data.....	30
Gambar 3.16. Tampilan pemilihan file batimetri.....	30
Gambar 3.17. Tampilan shoreline dan scatter bathimetri.....	31
Gambar 3.18. Pembuatan garis boundary di batas terluar/daerah penelitian	31
Gambar 3.19. Arc Property.....	32
Gambar 3.20. Mesh generator.....	32
Gambar 3.21. Hasil Mesh Generator.....	33
Gambar 3.22. Interpolate mesh.....	33
Gambar 3.23. Model yang telah di interpolasi.....	34
Gambar 3.24. Export mesh.....	34
Gambar 3.25. Input Time Series Pasang Surut.....	35
Gambar 3.26. Input File Properties Time Series Pasang Surut.....	36
Gambar 3.27. Input Time Series.....	36

Gambar 3.28. Time Series Pasang Surut	37
Gambar 3.29. Flow Model FM.....	38
Gambar 3.30. Load Mesh File.....	38
Gambar 3.31. Mengatur time yang akan ditentukan sesuai dengan pasang surut yang dimiliki	39
Gambar 3.32. Module Selection.....	39
Gambar 3.33. Boundary Conditions	40
Gambar 3.34. Output Area Flow Model FM	40
Gambar 3.35. Output Item Flow Model FM.....	41
Gambar 3.36. Modul Hydrodynamic Flow Model siap untuk dijalankan...	41
Gambar 3.37. Data Salinitas dan suhu	42
Gambar 3.38. Boundary Garis Pantai	42
Gambar 3.39. Input Manage Scatter Data	43
Gambar 3.40. Pengaturan pada menu Generate Mesh	43
Gambar 3.41. Smooth Mesh	44
Gambar 3.42. Interpolate Mesh	44
Gambar 3.43. Tampilan Export Mesh	45
Gambar 3.44. Tampilan <i>Initial Condition</i> suhu	45
Gambar 3.45. Tahapan Running Aplikasi	46
Gambar 3.46. Visualisasi Hasil Simulasi Mike 21	47
Gambar 3.47. Bagan Alir Penelitian.....	49
Gambar 4.1. Peta Daerah Estuary Sungai Tallo makassar	50
Gambar 4.2. Daerah Pemodelan sungai Tallo	51
Gambar 4.3. Grafik Pasang Surut 15 Hari Muara Tallo	53
Gambar 4.4. Pola arus pada saat (a) Pasang (b) Surut.....	56
Gambar 4.5. Grafik Kecepatan Arus	57
Gambar 4.6. (a) Kadar Salinitas (b) Suhu	59

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data xyz bathimetri	21
Tabel 2. Data Pasang Surut di Muara Sungai Tallo	22
Tabel 3. Data Salinitas Sungai Tallo	24
Tabel 4. Data Pasang Surut Sungai Tallo	53

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam perencanaan pembangunan wilayah pesisir perlu memperhatikan berbagai faktor seperti angin, arus, pasang surut, muara sungai, erosi, abrasi, dan lain sebagainya. Perairan pantai di sekitar muara Sungai Tallo merupakan kawasan yang telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk transportasi, perikanan dan lain sebagainya. Perairan tersebut merupakan daerah peralihan antara daratan dan laut lepas, sehingga terjadi interaksi antara keduanya. Kondisi muara sangat dinamis karena adanya pengaruh seperti arus sungai dan kuatnya pasang laut, sehingga mempengaruhi pola aliran sirkulasi, salinitas, tingkat pencampuran air asin dan air tawar. Perairan ini biasa disebut juga Zona Estuari.

Estuaria adalah suatu perairan semi tertutup yang terdapat di hilir sungai dan masih berhubungan dengan laut, sehingga memungkinkan terjadinya pencampuran air laut dan air tawar dari sungai atau drainase yang berasal dari muara sungai, teluk, rawa pasang surut. Pola hidrodinamika pantai di sekitar muara bergantung pada bentuk, karakteristik dan faktor dominan yang mempengaruhi morfologi muara itu sendiri. Faktor-faktor tersebut adalah gelombang, laju arus sungai, dan pasang surut. Ketiga faktor tersebut bekerja secara bersamaan. Seperti perubahan kondisi dinamika aliran arus pada sungai yang berpengaruh terhadap

pengangkutan air dan salinitas. Daerah sungai yang memiliki peluang cukup besar untuk mengalami perubahan kondisi ini adalah hilir sungai yang merupakan bagian sungai yang bertemu langsung dengan laut.

Perambatan gelombang pasang dari laut menuju muara diarahkan berlawanan dengan laju aliran sungai yang mengalir menuju laut. Perbedaan massa jenis antara air laut dan air tawar menyebabkan pencampuran antara keduanya. Derajat pencampuran tergantung pada kondisi geometrik muara, pasang surut, besarnya debit aliran sungai, perbedaan massa jenis antara air laut dan air tawar, serta angin. Kecepatan pasang surut ke muara tergantung pada kedalaman air. Pasang surut dapat menyebabkan pergerakan arus horizontal, yaitu aliran air horizontal berkala yang terkait dengan rentang pasang surut. Arus bervariasi dari nol ketika air berhenti (air kendur) hingga maksimum.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi hidrodinamika, yang terkait dengan pola sirkulasi arus dan pasang surut di muara sungai Sungai Tallo Makassar. Hasil dari penelitian ini diharapkan memberi gambaran pola sirkulasi arus Sungai Tallo dengan metode permodelan numerik. Metode ini digunakan untuk mengetahui kondisi hidrodinamika, pasang surut, dan pola sirkulasi arus pada daerah muara sungai.

Dengan latar belakang yang telah dibahas maka menarik untuk dilakukan penelitian dengan judul

“PEMODELAN ARUS & SALINITAS PADA ZONA ESTUARY SUNGAI TALLO”

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pola arus yang terjadi di muara Sungai Tallo?
2. Bagaimanakah kondisi sebaran salinitas pada muara Sungai Tallo?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Memodelkan pola arus yang terjadi di muara Sungai Tallo.
2. Mengetahui sebaran salinitas pada daerah muara Sungai Tallo Makassar.

D. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menganalisa arus di zona estuary sungai tallo/pantai berdasarkan permodelan yang akan dibentuk sehingga bisa digunakan sebagai informasi bagi pihak pihak yang ingin mengetahui pola dinamika perairan estuary Sungai Tallo khususnya menjadi dasar pertimbangan bagi pengembangan di sekitar muara Sungai Tallo makassar.

E. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan penelitian ini terdapat beberapa Batasan masalah antara lain :

1. Parameter yang digunakan dalam permodelan ini adalah arus muka air perairan Sungai Tallo.

2. Wilayah penelitian adalah perairan zona esturay Sungai Tallo Makassar.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan digunakan agar penulisan penelitian ini dapat dijelaskan secara terstruktur dan sesuai dengan pokok pembahasan yang dibahas. Dalam tugas akhir ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan yang diterangkan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini merupakan teori – teori dan tinjauan umum yang digunakan sebagai landasan untuk membahas dan menganalisa permasalahan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan lokasi, waktu dan prosedur pelaksanaan penelitian yang dibuat dalam bentuk diagram alir serta metode pengolahan data hasil penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan data yang telah diperoleh dari hasil penelitian beserta pengolahan data dan pembahasan hasil penelitian tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini akan berisikan kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lanjutan dari tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Estuari

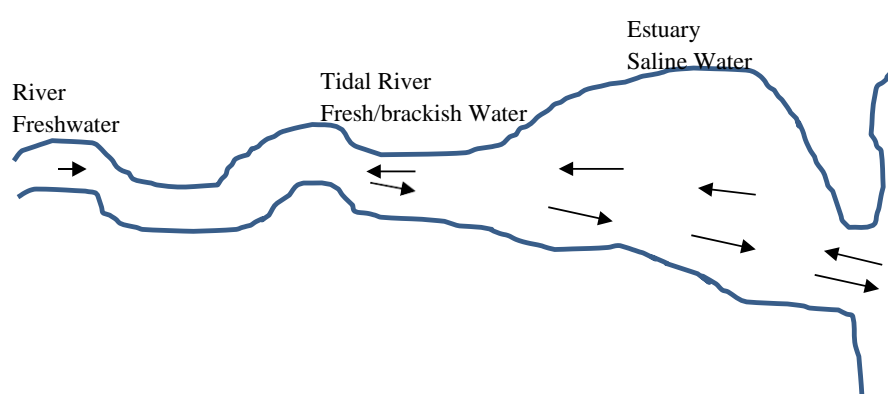
Estuari telah lama menjadi area yang penting bagi manusia, karena selain sebagai alur pelayaran, area ini juga berpotensi untuk dijadikan area perkotaan. Para ilmuwan biologi tertarik oleh fungsi lain dari estuari yaitu area mencari makan utama untuk berbagai spesies burung, lokasi perikanan pesisir, ataupun area untuk memahami bagaimana hewan dan tumbuhan beradaptasi dengan lingkungannya (McLusky, 2004). Estuari merupakan tempat pertemuan air tawar dan air asin. Definisi estuari adalah bentuk teluk di pantai yang sebagian tertutup, dimana air tawar dan air laut bertemu dan bercampur (Nybakken, 1988).

Menurut Ji (2008) estuari adalah perairan pesisir dimana mulut sungai bertemu dengan lautan dan dimana air tawar dari sungai bercampur dengan air asin dari lautan. Contoh perairan estuari adalah : muara sungai, teluk kecil, laguna, dan rawa pasang-surut. Secara ekologis, daerah ini adalah pelagis dangkal yang mengandalkan sistem planktonis sebagai dasar dari proses ekologi di daerah tersebut (DKP, 2009).

Estuari berbeda dari sungai dan danau secara hidrodinamik, kimiawi, dan biologi. Dibandingkan dengan sungai dan danau, karakteristik unik estuari yaitu : (1) pasang surut adalah daya penggerak utama; (2) salinitas dan variasinya biasanya berperan penting dalam proses hidrodinamik dan kualitas air; (3) net flows dua arah, menuju kearah laut dilapisan permukaan

dan menuju ke arah darat dilapisan dasar, sering mengontrol transport polutan jangka panjang; dan (4) kondisi open boundary dibutuhkan dalam pemodelan numerik. Faktor primer yang mengontrol proses transport di estuari adalah pasang surut dan masukan air tawar. Gaya angin juga dapat menjadi signifikan untuk estuari yang besar. Pada sebagian besar estuari, air tawar berasal dari bagian kepala sungai (hulu) dan memiliki bagian peralihan (dekat mulut estuari) antara estuari dan laut (Ji, 2008).

Gambar 2.1 memberikan ilustrasi mengenai sistem estuari yang umumnya panjang dan sempit, meniru seperti sebuah saluran. Sungai merupakan sumber utama air tawar ke dalam estuari yang bercampur dengan air laut sebagaimana elevasi pasang naik dan surut.



Gambar 2.1 Skema Sistem Estuari

Pengetahuan intrusi air asin adalah penting untuk mengetahui dinamika sedimen di estuari, penentuan letak bangunan pengambilan (intake) dari saluran primer di daerah persawahan pasang surut atau tambak. Daerah pertanian tidak boleh dipengaruhi air asin. Oleh karena itu, saluran irigasi harus diletakkan di daerah yang tidak dipengaruhi air asin.

Demikian juga, suatu jenis ikan/udang akan berkembang dengan baik pada lingkungan dengan kadar garam tertentu. Letak intake saluran dari suatu tambak harus sedemikian rupa sehingga kadar garam air untuk tambak memenuhi persyaratan(Ji, 2008).

B. Pasang Surut

Pasang surut merupakan kenaikan dan penurunan muka air yang dihasilkan dari gaya tarik gravitasi antara bumi, matahari dan bulan. Arus pasang surut terkait dengan gerakan horizontal air. Arus pasang surut berubah kecepatan dan arahnya secara teratur. Pada pasang tinggi di mulut estuari, lereng air permukaan mendorong air menuju ke dalam estuari. Pada pasang rendah, lereng yang berkebalikan mengalirkan air keluar dari estuari. Pasang surut dan sirkulasinya berperan penting pada hidrodinamik, transportasi sedimen dan proses kualitas air di estuari dan perairan pesisir (Ji, 2008).

Pasang surut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi bulan dan matahari. Kecuali 2 hal tersebut, benda-benda langit lainnya tidak berpengaruh terhadap pasang surut. Hukum Gravitasi Newton menyatakan bahwa gaya tarik gravitasi antara 2 benda adalah sebanding dengan hasil massa kedua benda tersebut dibagi dengan kuadrat jarak diantara keduanya:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.1)$$

Dimana :

F = gaya gravitasi,

r = jarak antara pusat massa 2 benda,

m1 = massa benda 1,

m2 = massa benda 2,

G = konstanta gravitasi ($6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$).

Bulan memiliki jarak terdekat dengan bumi dibandingkan benda-benda langit lainnya dan memiliki pengaruh terkuat terhadap pasang surut. Gaya sentrifugal dari rotasi bumi juga mempengaruhi pasang surut. Keseimbangan antara dua gaya mengontrol pasang surut di laut dalam. Pada bagian bumi yang menghadap bulan, ada gaya gravitasi yang lebih kuat karena jarak yang lebih pendek. Pada sisi yang jauh dari bulan, gaya gravitasi lebih lemah karena jarak yang lebih jauh. Perbedaan gaya ini menghasilkan pasang tinggi pada sisi yang menghadap bulan (karena gaya tarik bulan yang lebih kuat) dan pada sisi yang jauh dari bulan (karena gaya sentrifugal yang lebih kuat secara relatif) (Ji, 2008).

Tipe pasang surut ditentukan oleh frekuensi air pasang dengan air surut setiap harinya. Wyrcki dalam Wismadi dan Handayani (2014) membagi pasang surut di perairan Indonesia menjadi empat tipe, yaitu:

1. Diurnal tide (pasang surut harian tunggal), dimana suatu perairan mengalami satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari
2. Semi diurnal tide (pasang surut harian ganda), dimana suatu perairan mengalami dua kali pasang dan dua kali surut

3. Mixed tide, prevailing diurnal (pasang surut campuran condong harian tunggal), merupakan pasang surut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut, namun terkadang juga dua kali pasang dan dua kali surut

4. Mixed tide, prevailing semidiurnal (pasang surut campuran condong harian ganda), dimana pasang surut yang tiap harinya terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, namun ada kalanya mengalami satu kali pasang dan satu kali surut

Tipe pasang surut juga dapat ditentukan secara kuantitatif dengan menggunakan bilangan Formzahl, yakni bilangan yang dihitung dari nilai perbandingan antara amplitudo (tinggi gelombang) komponen harmonik pasang surut tunggal utama dan amplitudo komponen harmonik pasang surut ganda utama, secara matematis formula tersebut ditulis sebagai berikut:

$$F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2} \quad (2.2)$$

Dimana:

F = bilangan Formzahl,

O_1 = amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan,

K_1 = amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari,

M_2 = amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan, dan

S_2 = amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari.

Berdasarkan nilai F , tipe pasang surut dapat dikelompokkan sebagai berikut: $F < 0.25$: pasang surut tipe ganda

$0.26 < F < 1.5$. : pasang surut campuran condong bertipe ganda

$1.5 < F < 3$: pasang surut campuran condong bertipe tunggal

$F > 3$: pasang surut tunggal

C. Arus

Aliran massa air, yang diukur dari kecepatan aliran (velocity) atau yang sering disebut sebagai arus (current), dimana biasanya dinyatakan dalam meter/detik, dan aliran biasanya cenderung mengarah ke arah laut khususnya pada saat air surut, namun dapat pula mengarah pada arah sebaliknya pada saat air pasang, yang sering disebut dengan istilah back water. Arah aliran di daerah muara pada bagian atas dapat berbeda arah dengan yang di bagian bawah, demikian pula arah pada satu sisi tepi sungai dapat berlawanan dibandingkan dengan pada sisi sungai yang lainnya. Demikian pula dalam kombinasi perbedaan arah yang sangat kompleks, baik pada penampang vertikal maupun lateral (Ongkosongo, 2010)

Luas perairan estuaria yang umumnya sempit dan dangkal menghilangkan pengaruh ombak yang masuk ke estuaria dari laut secara

cepat. Sebagai akibat proses ini, pada umumnya estuaria merupakan tempat yang airnya tenang. Arus di estuaria terutama disebabkan oleh kegiatan pasang surut dan aliran sungai. Pada bagian hulu terjadi masukan air tawar yang terus menerus. Sebagian air tawar ini bergerak ke hilir estuaria, bercampur sedikit atau banyak dengan air laut. Sebagian besar air ini pada akhirnya mengalir keluar estuaria atau menguap untuk mengimbangi air berikutnya yang masuk di bagian hulu (Nybakken, 1988).

D. Salinitas

Air merupakan kebutuhan dasar bagi makhluk hidup yang digunakan dalam berbagai aktivitas sehari – harinya. Air baku adalah air yang memenuhi ketentuan Baku Mutu Air sehingga dapat juga diolah menjadi air minum. Namun fakta di lapangan menunjukkan tidak semua sumber air baku tersebut dapat langsung digunakan sebagai air minum karena banyak yang belum sesuai dengan persyaratan fisik, kimia, ataupun biologi yang telah ditentukan, misalnya air yang asin atau dengan kadar salinitas yang tinggi. Air baku adalah air bersih yang dipakai untuk keperluan air minum, rumah tangga dan industri. Air dapat dikatakan sebagai air bersih apabila telah memenuhi 4 syarat yaitu syarat fisik, syarat kimia, syarat biologis dan syarat radioaktif (Kunarso, 2020).

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air. Salinitas merupakan bagian dari sifat fisik dan kimia suatu perairan, selain suhu, pH, substrat dan lain-lain. Salinitas menggambarkan padatan total di dalam air. Salinitas

perairan menggambarkan kandungan garam dalam suatu perairan. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air termasuk garam dapur (NaCl). Pada umumnya salinitas disebabkan oleh 7 ion utama yaitu natrium (Na), klorida (Cl), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), sulfat (SO₄) dan bikarbonat (HCO₃) (Kunarso, 2020).

Salinitas biasanya terjadi pada sungai yang secara umum berhubungan langsung dengan laut melalui muara atau estuari. Sirkulasi air di daerah estuari sangat dipengaruhi oleh aliran air tawar yang bersumber dari badan sungai dan air asin yang berasal dari laut. Oleh karena itu, terjadi proses masuknya air laut ke estuari yang dikenal dengan intrusi air laut. Jarak intrusi air laut sangat bergantung dengan pasang surut. Pada bagian sungai, dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian yang dipengaruhi oleh pasang surut dan tidak dipengaruhi oleh pasang surut. Bagian sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut terletak pada hilir sungai, dan bagian yang tidak dipengaruhi pada pasang surut air laut terletak pada bagian hulu sungai. Dilihat dari pengaruh pasang surut, jenis sungai dibagi menjadi dua, yaitu sungai non-pasang surut dan sungai pasang surut (Kunarso, 2020).

Air sungai merupakan salah satu air permukaan yang dapat digunakan sebagai sumber air baku yang umum digunakan oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) di Indonesia. Kualitas air dapat ditentukan dengan analisis kualitas air yang terdiri dari pemeriksaan fisik, kimia dan biologi. Kualitas air digunakan untuk mengetahui apakah air itu cukup aman untuk dikonsumsi atau dipergunakan untuk kegiatan tertentu.

Kualitas air juga dipergunakan untuk menentukan proses apa yang dibutuhkan dalam pengolahannya (Kunarso, 2020).

Salinitas diukur berdasarkan jumlah garam yang terkandung dalam satu kilogram air. Contoh perbandingan nyata, air tawar mempunyai salinitas $< 0,5$ o /oo dan air minum maksimal $0,2$ o /oo. Sumber literatur lain menyebutkan standar air tawar mempunyai salinitas maksimal 1 o /oo dan salinitas air minum $0,5$ o /oo, sedangkan air laut rata-rata mempunyai salinitas 35 o /oo (Kunarso, 2020).

Di muara sungai terjadi pertemuan antara air asin dari laut dan air tawar dari sungai. Letak titik temu dan tingkat pencampuran antara air asin dan air tawar sangat bervariasi tergantung kekuatan pasang surut dan debit sungai. Berdasarkan kekuatan relatif antara pasang surut dan debit sungai, sirkulasi estuari dapat dikelompokkan dalam 3 golongan utama yaitu (Anonim, 1999) : Estuari Berstratifikasi Sempurna (Salt Wedge Estuary), Estuari Tercampur Sebagian (Partial Mixed Estuary), dan Estuari Tercampur Sempurna (Well Mixed Estuary). Faktor-Faktor Penyebab Percampuran di Muara Faktor penyebab pencampuran di muara sungai adalah dengan menghubungkan salah satu dari ketiga sumber penyebab pencampuran yaitu angin, pasang surut dan debit aliran sungai (Kunarso, 2020).

E. Permodelan dan Metode Numerik

Menurut Fauziah (2005) model adalah suatu versi sistem yang disederhanakan. Sifat bentuk model dibedakan menjadi dua yaitu formal dan tidak formal. Lisan dan grafik merupakan bentuk model yang bersifat tidak formal. Statistik dan matematika merupakan bentuk model yang bersifat formal. Model merupakan suatu perumusan yang menirukan kejadian alam sebenarnya dengan membuat peramalan-peramalan. Manusia dapat memahami model yang disederhanakan meskipun tidak dapat melihat sistem tersebut secara lengkap pada satu waktu. Pembuatan model penting untuk menangkap dan mengerti jalannya sistem yang merupakan bagian kecil dari sistem tersebut.

Metode numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan (arithmetic). Dalam metode numerik ini dilakukan operasi hitungan dalam jumlah yang sangat banyak dan berulang-ulang. Oleh karena itu diperlukan bantuan komputer untuk melaksanakan operasi hitungan tersebut. Metode numerik mampu menyelesaikan suatu sistem persamaan yang besar, tidak linier dan sangat kompleks yang tidak mungkin diselesaikan secara analitis (Triatmodjo, 1992).

F. Software Mikro Zero

Software MIKE Zero atau MIKE 21 adalah paket perangkat lunak terkemuka untuk pemodelan 2D hidrodinamika, gelombang, dinamika

salinitas, kualitas air dan ekologi. Ini adalah perangkat lunak profesional dengan keandalan, kualitas, dan keserbagunaan tinggi.

MIKE 21 adalah produk modular dan mencakup mesin simulasi yang ditujukan untuk aplikasi yang sangat luas. Ini termasuk pemodelan aliran pasang surut, gelombang badai, adveksi-dispersi, tumpahan minyak, kualitas air, transportasi lumpur, transportasi pasir, gangguan pelabuhan dan perambatan gelombang.

MIKE 21 Flow Model FM didasarkan pada pendekatan mesh fleksibel dan telah dikembangkan untuk aplikasi dalam lingkungan oseanografi, pesisir dan muara. Sistem pemodelan juga dapat diterapkan untuk studi banjir di daratan.

Sistem ini didasarkan pada solusi numerik dari persamaan Navier-Stokes rata-rata Reynolds dua dimensi yang tidak dapat dimampatkan (*the two dimensional incompressible Reynolds averaged Navier-Stokes equations*) dengan menggunakan asumsi Boussinesq dan tekanan hidrostatik. Dengan demikian, model terdiri dari persamaan kontinuitas, momentum, temperatur, salinitas dan densitas dan ditutup dengan skema penutupan turbulen.

Diskritisasi spasial dari persamaan primitif dilakukan dengan menggunakan metode volume hingga (*finite volume*) yang berpusat pada sel. Domain spasial dipisahkan oleh pembagian kontinum menjadi elemen/sel yang tidak tumpang tindih. Pada bidang horizontal, grid tidak terstruktur digunakan, sedangkan pada domain vertikal dalam model 3D

digunakan mesh terstruktur. Dalam model 2D, elemen dapat berupa elemen segitiga atau segiempat. Dalam model 3D, elemen dapat berupa prisma atau batu bata yang permukaan horizontal masing-masing adalah elemen segitiga dan segiempat.

PERSAMAAN YANG MENGATUR

Persamaan yang mengatur 2D dalam Koordinat Kartesius (*2D Governing Equations in Cartesian Co-ordinates*)

- **Persamaan air dangkal (*Shallow water equations*)**

Integrasi persamaan momentum horizontal dan persamaan kontinuitas atas kedalaman $h = \eta + d$ diperoleh persamaan air dangkal dua dimensi berikut ini.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$= f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} \quad \dots\dots\dots (2.5) \\
& = f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} \\
& \quad - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S
\end{aligned}$$

dimana t adalah waktu; x dan y adalah koordinat Kartesius; η adalah elevasi permukaan; d adalah kedalaman air yang tenang; $h = \eta + d$ adalah total kedalaman air; \bar{u} dan \bar{v} adalah kecepatan rata-rata kedalaman pada arah x dan y ; $f = 2\Omega \sin \phi$ adalah parameter Coriolis (Ω adalah laju sudut revolusi dan ϕ garis lintang geografis); g adalah percepatan gravitasi; ρ adalah rapat massa air; s_{xx}, s_{xy}, s_{yx} dan s_{yy} adalah komponen tensor tegangan radiasi; (τ_{sx}, τ_{sy}) dan (τ_{bx}, τ_{by}) adalah komponen x dan y dari tegangan angin permukaan dan tegangan dasar; p_a adalah tekanan atmosfer; ρ_0 adalah rapat massa referensi air. S adalah besarnya debit karena sumber titik dan (u_s, v_s) adalah kecepatan pembuangan air ke air disekitar / *ambient*.

$$\partial h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

Tegangan lateral T_{ij} termasuk gesekan kekentalan, gesekan turbulen dan adveksi diferensial. Mereka diperkirakan menggunakan formulasi viskositas eddy berdasarkan gradien kecepatan rata-rata kedalaman

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}, \quad T_{xy} = A \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right), \quad T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana A adalah viskositas pusaran arus horizontal (*the horizontal eddy viscosity*)

Persamaan transportasi untuk garam / Salinitas

Mengintegrasikan persamaan transpor untuk garam di atas kedalaman diperoleh persamaan transpor dua dimensi berikut

$$\frac{\partial h\bar{s}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{s}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{s}}{\partial y} = hF_s + h s_s S \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana \bar{s} adalah kedalaman rata-rata salinitas. s_s adalah salinitas sumber.

F adalah istilah difusi horizontal

G. Penelitian Terdahulu

Karamma (2020) memodelkan pola sebaran dan stratifikasi struktur massa air akibat pengaruh hidrodinamika dengan menggunakan model numerik dua dimensi. Pencatatan data dilakukan pada kondisi pasang purnama dan pasang surut selama 18 hari di Sungai Stuary Jeneberang Makassar. Model numerik 2D dengan basis mesh fleksibel digunakan dalam penelitian ini. Model ini dapat mengkonfigurasi garis pantai dan batimetri dan diterapkan di muara. Validasi model menunjukkan tingkat kesalahan elevasi muka air pada stasiun 1 dan 2 sebesar 2,26% dan 5,47%. Begitu juga dengan validasi model hasil pengukuran arus, kecepatan-u 9,7% dan kecepatan-v 4,8%. Hasil simulasi menunjukkan pola distribusi salinitas dan temperatur mengikuti pola aliran sehingga mempengaruhi distribusi struktur massa air di perairan muara Sungai Jeneberang. Interaksi yang terjadi antara struktur massa air dengan faktor hidrodinamika menghasilkan arus bergerak yang membawa sejumlah massa air yaitu salinitas dan temperatur. Tercampur rata terjadi pada jarak 400 m- 1000 m dari muara muara.

Abdurrahman (2015) meneliti tentang simulasi numeris arus pasang surut pada Perairan Selat Madura, Surabaya. Simulasi arus dilakukan menggunakan pasang surut sebagai gaya pembangkit. Analisa simulasi numeris pasang surut ini digunakan untuk berbagai keperluan rekayasa, perencanaan alur pelayaran, navigasi, dan pengembangan wilayah pantai.

Data yang digunakan pada simulasi arus pasang surut dalam penelitian ini adalah data bathymetri DISHIDROS dan data pasang surut global. Analisa simulasi dilakukan selama 15 hari dengan hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan arus pada saat surut lebih besar dibandingkan pada saat pasang. Kekuatan arus terbesar berada daerah timur perairan karena berdekatan dengan mulut selat. Sedangkan daerah barat perairan kekuatan arus cenderung melemah karena merupakan daerah pertemuan arus yang berasal dari arah utara dan dari timur.

(Kunarso, 2020) mensimulasikan Distribusi Suhu, Salinitas Dan Densitas Di Lapisan Homogen Dan Termoklin Perairan Selat Makassar. Penelitian ini bertujuan mengkaji distribusi suhu, salinitas dan densitas di lapisan homogen dan termoklin perairan Selat Makassar. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2015. Data diperoleh dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pesisir (P3SDLP) dengan data primer berupa data suhu, salinitas, densitas dan kedalaman menggunakan instrumen CTD. Stasiun pengambilan data terdiri dari 18 stasiun pengambilan data berdasarkan metode purposive sampling. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode analisis statistik deskriptif. Hasil menunjukkan bahwa ketebalan lapisan homogen antara 19,5-68,5 m. Ketebalan lapisan termoklin bervariasi antara 50-220 m. Variabilitas ketebalan lapisan homogen dan lapisan termoklin disebabkan beberapa faktor seperti tekanan angin, pemanasan matahari, transpor massa air, dan aktivitas gelombang internal. Sebaran nilai suhu di lapisan

homogen bervariasi antara 25,35-29,94 °C. Suhu permukaan laut cenderung lebih tinggi di bagian utara Selat Makassar. Suhu di lapisan termoklin berkisar antara 12,09-29,22 °C.