

SKRIPSI

**SIMULASI HIDRODINAMIKA ARUS PASANG SURUT DI
TELUK PALU MENGGUNAKAN MIKE ZERO**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDI MUTHIA ARDELIA DIVANESIA
D011 19 1102**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

SIMULASI HIDRODINAMIKA ARUS PASANG SURUT DI TELUK PALU MENGGUNAKAN MIKE ZERO

Disusun dan diajukan oleh

Andi Muthia Ardelia Divanesia
D011 19 1102

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 21 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Riswal K, ST., MT., IPM. ASEAN. Eng.
NIP: 196207291987031001

Pembimbing Pendamping,



Ir. Andi Subhan Mustari, M. Eng., IPM. ASEAN. Eng.
NIP: 197912262005011001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Andi Muthia Ardelia Divanesia

NIM : D011 19 1102

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{SIMULASI HIDRODINAMIKA ARUS PASANG SURUT DI TELUK PALU
MENGUNAKAN MIKE ZERO}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Maret 2023

Yang Menyatakan



10000
REPUBLIK INDONESIA
TEL. 021
20
METERAI
TEMPEL
89AAKX513746041

Andi Muthia Ardelia Divanesia

ABSTRAK

ANDI MUTHIA ARDELIA DIVANESIA. *Simulasi Hidrodinamika Arus Pasang Surut di Teluk Palu Menggunakan MIKE Zero* (dibimbing oleh Ir. Dr. Riswal Karamma, ST., MT., dan Ir. Andi Subhan Mustari, ST., M.Eng., IPM.)

Teluk Palu adalah salah satu laut semi tertutup yang ada di Indonesia dan merupakan teluk yang dikelilingi dengan 21 sungai namun hanya Sungai Palu yang mengalir sepanjang tahun. Kondisi perairan Teluk Palu tidak terlalu dipengaruhi oleh arus laut lepas, tetapi dipengaruhi oleh gelombang, debit, dan pasang surut merupakan penggerak sirkulasi massa air di perairan di semi tertutup. Bentuk topografi Teluk Palu yang unik menyebabkan pertemuan arus pasang surut dan arus sungai menyebabkan terbentuknya arus pusaran (*eddy*). Hal ini mendorong peneliti untuk menganalisis pola sirkulasi pasang surut Teluk Palu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan memodelkan hidrodinamika arus pasang surut di Teluk Palu menggunakan perangkat lunak *MIKE Zero*. Metode penelitian ini secara bertahap adalah melakukan pengumpulan data, pembuatan mesh, dan simulasi model. Hasil dari analisis penelitian ini didapatkan tipe pasang surut yang terjadi di Teluk Palu adalah tipe campuran condong harian ganda. Pola arus pasang surut di Teluk Palu didominasi oleh arus pasang surut. Pola arus yang terjadi saat arus terbesar adalah arah vektor yang bergerak menjauhi sungai. Sedangkan pada arus terkecil membentuk pusaran air di dekat muara karena arus pasang surut yang menuju muara terhalang oleh arus sungai. Tingkat akurasi hasil model berdasarkan nilai RMSE adalah 12% dan nilai tersebut dapat dikategorikan baik untuk tingkat akurasi.

Kata Kunci: Teluk Palu, Pasang Surut, Kecepatan Arus

ABSTRACT

ANDI MUTHIA ARDELIA DIVANESIA. *Hydrodynamics Simulation of Tidal Currents in Palu Bay Using Mike Zero* (supervised by Ir. Dr. Riswal Karamma, ST., MT., and Ir. Andi Subhan Mustari, ST., M.Eng., IPM.)

Palu Bay is one of the semi-enclosed seas in Indonesia, and 21 rivers surround Palu Bay, but only the Palu River flows throughout the year. The condition of the waters of Palu Bay is not affected by the open sea currents. Instead, it is according to waves, discharge, and tides, which one the circulation drive of water masses in the semi-enclosed sea. The unique topography of Palu Bay causes tidal and river currents to meet and form eddy currents. That matter prompted researchers to analyze the patterns of tidal circulation in Palu Bay. This research aimed to analyze and model the hydrodynamics of tidal currents in Palu Bay using the MIKE Zero software. This research method begins with data collection, creating a mesh, and ends with model simulation. The results show that the type of tide that forms in Palu Bay is a mixed tide prevailing semi-diurnal with tidal currents dominating the tidal current pattern in Palu Bay. A current's pattern analysis occurs that's the vector direction moves away from the river when the current speed is at its largest. Meanwhile, when the current speed is at its smallest, its forms a whirlpool near the estuary. A whirlpool occurs because river currents block the tidal currents leading to the estuary. The level of accuracy of the model results based on the RMSE value was 12%, and we can categorize this value as acceptable for the level of accuracy.

Keywords: Palu Bay, Tides, Current Speed

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Muara	8
2.3 Pasang Surut.....	9
2.2.1 Metode Analisis Pasang surut	10
2.2.2 Gaya Pembangkit Pasang Surut.....	12
2.2.3 Jenis Pasang Surut	13
2.2.4 Tipe Pasang Surut.....	14
2.2.5 Elevasi Muka Air.....	18
2.3 Arus.....	18
2.3.1 Arus Pasang Surut	19
2.4 Debit.....	19
2.5 Batimetri.....	19
2.6 Konsep Hidrodinamika	19
2.7 Program <i>MIKE ZERO</i>	20
2.7.1 Model Hidrodinamika <i>MIKE21</i>	20
2.8 RMSE (<i>Root Mean Square</i>)	21
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Lokasi Penelitian.....	25
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	25
3.3 Rancangan Penelitian.....	26
3.3.1 Studi Literatur.....	26
3.3.2 Pengumpulan Data.....	26
3.3.3 Pengamatan data pasang surut	26
3.3.4 Penyusunan dan Simulasi Model.....	28
3.3.5 Simulasi Aliran menggunakan MIKE Zero.....	28
3.3.6 Analisis dan Pembahasan	37
3.3.7 Kesimpulan dan Saran	37

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Verifikasi Model	38
4.2 Analisis Pasang Surut.....	39
4.2.1 Tipe Pasang Surut.....	40
4.2.2 Perbandingan Hasil Simulasi terhadap Data	41
4.3 Hasil Simulasi Pola Arus Pasang Surut di Teluk Palu.....	43
4.3.1 Elevasi Muka Air Tertinggi	43
4.3.2 Elevasi Muka Air Terendah.....	47
4.3.3 Kecepatan Arus Terbesar.....	51
4.3.4 Kecepatan Arus Terkecil	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pemodelan pasang surut di Pesisir Karawang setelah simulasi	4
Gambar 2 Boundary condition di area model di Pesisir Takalar	5
Gambar 3 Hasil running nilai ketinggian pasang surut.....	6
Gambar 4 Grafik <i>overlay</i> hasil model dengan data pasang surut pengamatan	7
Gambar 5 Pasang purnama.....	14
Gambar 6 Pasang perbani	14
Gambar 7 Pola gerak pasang surut diurnal (harian tunggal).....	15
Gambar 8 Pola gerak pasang surut semidiurnal (harian ganda).....	15
Gambar 9 Pola gerak pasang surut campuran condong harian tunggal	16
Gambar 10 Pola gerak pasang surut campuran condong harian ganda.....	16
Gambar 11 Pola tipe pasang surut di Indonesia	17
Gambar 12 Bagan alir penelitian.....	23
Gambar 13 Diagram alir simulasi <i>MIKE Zero</i>	24
Gambar 14 Lokasi penelitian	25
Gambar 15 Alat yang digantung pada ballast beton	27
Gambar 16 Pemasangan alat	27
Gambar 17 Batimetri Teluk Palu	28
Gambar 18 Membuat mesh baru	29
Gambar 19 Tampilan <i>point-point boundary</i>	29
Gambar 20 Input data batimetri	30
Gambar 21 Proses <i>Interpolate</i> berhasil	31
Gambar 22 Dialog New Time Series	31
Gambar 23 Pengisian informasi data pasang surut	32
Gambar 24 <i>Blank time series</i> untuk pasang surut	32
Gambar 25 Garfik pasang surut	32
Gambar 26 Pengisian informasi data debit	33
Gambar 27 Dialog New File untuk MIKE 21	34
Gambar 28 Input mesh pada bagian Domain.....	34
Gambar 29 Input data waktu pada bagian Time	35
Gambar 30 Input data pasang surut pada boundary	35
Gambar 31 Input data debit pada boundary	36
Gambar 32 Input data output	36
Gambar 33 Memilih variabel output simulasi.....	36
Gambar 34 Proses simulasi	37
Gambar 35 Lokasi pengambilan langsung data pasang Surut	38
Gambar 36 Grafik pasang surut hasil simulasi <i>MIKE Zero</i> di Taman Ria	41
Gambar 37 Grafik pasang surut hasil simulasi <i>MIKE Zero</i> di Watusampu.....	41
Gambar 38 Grafik perbandingan pasang surut di lokasi Taman Ria	42
Gambar 39 Grafik perbandingan pasang surut di lokasi Watusampu.....	42
Gambar 40 Pola arus $\Delta t = 591$	43
Gambar 41 Pola arus $\Delta t = 594$	44
Gambar 42 Pola arus $\Delta t = 598$	45
Gambar 43 Pola arus $\Delta t = 601$	46
Gambar 44 Pola arus $\Delta t = 238$	47

Gambar 45 Pola arus $\Delta t = 241$	48
Gambar 46 Pola arus $\Delta t = 244$	49
Gambar 47 Pola arus $\Delta t = 247$	50
Gambar 48 Pola arus $\Delta t = 86$	51
Gambar 49 Pola arus $\Delta t = 89$	52
Gambar 50 Pola arus $\Delta t = 92$	53
Gambar 51 Pola arus $\Delta t = 96$	54
Gambar 52 Pola arus $\Delta t = 530$	55
Gambar 53 Pola arus $\Delta t = 533$	56
Gambar 54 Pola arus $\Delta t = 536$	57
Gambar 55 Pola arus $\Delta t = 539$	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Presentase verifikasi setiap stasiun	8
Tabel 2 Komponen/konstanta harmonik utama pasang surut	11
Tabel 3 Definisi elevasi muka air	18
Tabel 4 Koordinat lokasi observasi	26
Tabel 5 Detail persentase nilai selisih dua titik verifikasi lokasi penelitian	39
Tabel 6 Detail hasil akhir konstanta utama pasang surut di Taman Ria	39
Tabel 7 Detail hasil akhir konstanta utama pasang surut di Watusampu	39
Tabel 8 Hasil analisis elevasi muka air rencana di Taman Ria	40
Tabel 9 Hasil analisis elevasi muka air rencana di Watusampu	40

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
F_g	Gaya gravitasi
G	Konstanta universal ($6,6 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{Kg}^2$)
M_1	Massa benda pertama
M_2	Massa benda kedua
R	Jarak
F	Bilangan Formzahl
AK_1	Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari
AO_2	Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
AM_2	Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
AS_2	Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari
Q	Debit
A	Luas penampang
v	Kecepatan arus pada luas penampang basah
t	Waktu
x, y, z	Koordinat Kartesius
u, v, w	Komponen kecepatan aliran
S	Besaran debit karena titik sumber
g	Gaya gravitasi bumi
F	Gaya
ρ	Massa jenis
N	Waktu
η_{Mi}	Elevasi muka air hasil simulasi
η_{oi}	Elevasi muka air pengukuran lapangan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data pasang surut.....	65
Lampiran 2 Data pasang surut hasil simulasi.....	71
Lampiran 3 Grafik pasang surut.....	73
Lampiran 4 Data debit rata-rata	74
Lampiran 5 Data kecepatan arus hasil simulasi	75
Lampiran 6 Detail <i>time step</i> (Δt).....	77

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penyusunan skripsi yang berjudul “**SIMULASI HIDRODINAMIKA ARUS PASANG SURUT DI TELUK PALU MENGGUNAKAN MIKE ZERO**” ini, dapat selesai guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan pada Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

Ada banyak hambatan dan rintangan yang penulis rasakan selama menyusun penulisan skripsi ini. Namun, berkat bantuan dari banyak pihak, skripsi ini bisa berhasil diselesaikan. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Dr. Ir. Riswal Karamma, ST., MT., IPM. ASEAN. Eng.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya memberikan bimbingan dan pengarahan dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. Bapak **Ir. Andi Subhan Mustari, ST., M.Eng., IPM. ASEAN. Eng.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Teman seangkatan Teknik Sipil dan Lingkungan **PORTLAND 2020**, atas segala pengalaman dan cerita suka dukanya.
6. Teman dekat saya, **Armitha, Faranita, Nurul, Debby, Rivaldo, Mutiara, dan Rahma**, atas segala dukugannya.

Saya ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih saya yang tulus kepada ayah saya, **Andi Rusdin**, dan ibu saya, **Asriaty Azis Bachtiar**, atas doa dan dukungannya sepanjang hidup saya. Teristimewa saya sampaikan terimakasih kepada adik-adik saya, **Rifa, Mitsuko, Michiko, dan Rafigo**, atas perhatian dan dukungannya.

Kepada semua pihak, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi untuk pengembangan selanjutnya yang lebih baik lagi.

Makassar Mei 2023

Andi Muthia Ardelia Divanesia

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teluk merupakan perairan yang lebih condong ke daratan, salah satu teluk yang ada di Indonesia adalah Teluk Palu. Teluk Palu dikelilingi oleh Kota Palu dan Kabupaten Donggala yang berada di provinsi Sulawesi Tengah. Perairan Teluk Palu dikelilingi pegunungan tinggi dengan ketinggian mencapai 500 m di atas permukaan laut (mpdl). Teluk Palu memiliki ukuran lebar 11 km dengan panjang 31 km dan dikelilingi oleh 21 sungai namun hanya Sungai Palu yang terus mengalir sepanjang tahun karena sungai lainnya mengalir ketika musim hujan sedang berlangsung.

Sungai Palu sebagai saluran utama memiliki fungsi penting dalam mengalirkan debit yang bermuara di perairan Teluk Palu. Kondisi perairan Teluk Palu tidak terlalu dipengaruhi oleh arus laut lepas karena Teluk Palu termasuk dalam kategori laut semi tertutup. Berdasarkan kondisi tersebut arus yang terjadi di Teluk Palu terutama pada muara tergantung pada bentuk, karakteristik, dan faktor dominan lain yang berpengaruh terhadap kondisi perairan. Menurut Riswal (2020) ada beberapa faktor yang mempengaruhi bentuk aliran pada muara sungai yaitu gelombang, debit sungai, dan pasang surut. Dimana ketiga hal tersebut bekerja secara simultan namun biasanya salah satu dari ketiga faktor tersebut memiliki pengaruh lebih dominan daripada faktor-faktor yang lainnya. Hal tersebut juga terjadi pada Teluk Palu dimana pola hidrodinamika yang terjadi didominasi oleh pasang surut.

Triatmodjo (2016) mengatakan pasang surut merupakan penggerak utama sirkulasi massa air atau arus di perairan sempit dan semi tertutup. Selain itu Gross (1972) dalam Rifardi (2009), juga menekankan bahwa pasang surut mendominasi sirkulasi air di sebagian besar muara sungai, sehingga suplai air di muara sungai bergantung pada peristiwa pasang surut. Teluk Palu yang memiliki bentuk memanjang dan sempit serta merupakan perairan semi tertutup menjadikan pasang surut sebagai gaya penggerak utama sirkulasi perairan yang berasal dari muara sungai.

Selain itu, menurut Sabhan, dkk (2020) Teluk Palu merupakan wilayah dengan topografi yang unik yaitu memiliki degradasi kedalaman yang tinggi sehingga membentuk kemiringan lereng yang curam serta berada pada jalur utama arus lintas Indonesia. Akibat bentuk topografi yang unik terjadi pertemuan antara arus pasang surut dan arus sungai pada Teluk Palu menyebabkan terbentuknya arus pusaran (*eddy*).

Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pola sirkulasi pasang surut yang terjadi di Teluk Palu. Pada penelitian ini pola sirkulasi pasang surut akan dianalisis dengan metode pemodelan menggunakan program pada komputer. Togar Simatupang dalam Arif (2017) menjelaskan bahwa pemodelan adalah proses membangun atau membentuk sebuah model dari suatu sistem yang nyata dalam bahasa formal tertentu. Dan model yang sudah diformulasikan dapat diuji kesesuaiannya dengan sistem nyata secara ilmiah. Maka untuk memperkecil kesalahan pengembangan dan hasil dari model, dapat dilakukan penyesuaian-penyesuaian tertentu.

Pemodelan pola sirkulasi pasang surut di Teluk Palu akan menggunakan program komputer yang memiliki kemampuan dalam menganalisis permasalahan pesisir, salah satu program komputer tersebut bernama *MIKE Zero*. Untuk menganalisis pola sirkulasi digunakan pemodelan hidrodinamika dua dimensi (2D).

Dengan latar belakang tersebut yang melandasi penulis membuat perencanaan pemodelan dua dimensi untuk disusun menjadi tugas akhir yang berjudul **“SIMULASI HIDRODINAMIKA ARUS PASANG SURUT DI TELUK PALU MENGGUNAKAN *MIKE ZERO*”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

Bagaimanakah pemodelan hidrodinamika dua dimensi pola sirkulasi arus pasang surut air laut di Teluk Palu dengan model numerik secara akurat?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai adalah untuk dapat menganalisis pemodelan hidrodinamika 2D pola sirkulasi arus pasang surut di perairan Teluk Palu menggunakan *MIKE Zero*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk:

1. Penambahan wawasan dalam sirkulasi pasang surut air laut di Teluk Palu menggunakan *MIKE Zero*.
2. Analisis dari penelitian dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan Teluk Palu.
3. Pembahasan dan hasil dari pemodelan sirkulasi pasang surut di Teluk Palu dapat bermanfaat untuk perkembangan teknologi dan informasi pada Teluk Palu.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup meliputi batasan materi dan batasan wilayah dari penelitian ini agar lebih terarah sesuai tujuan penelitian yang ingin dicapai, batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

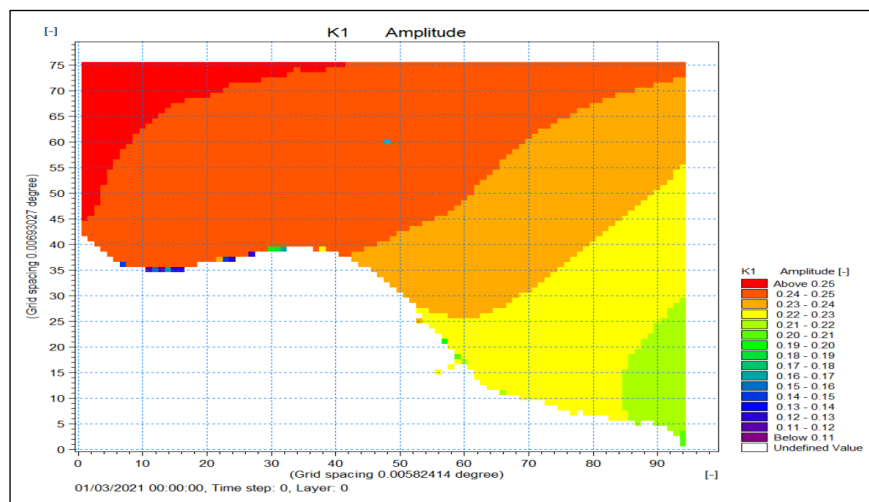
1. Program komputer yang digunakan adalah *MIKE Zero*.
2. Data yang digunakan berasal dari pihak-pihak yang berwenang. Data tersebut meliputi data pasang surut, data debit, dan peta batimetri Teluk Palu.
3. Simulasi dilakukan selama 24 jam dan wilayah pemodelan dibatasi yaitu Teluk Palu.
4. Data angin, suhu dan hujan tidak dimasukkan dalam simulasi aliran.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

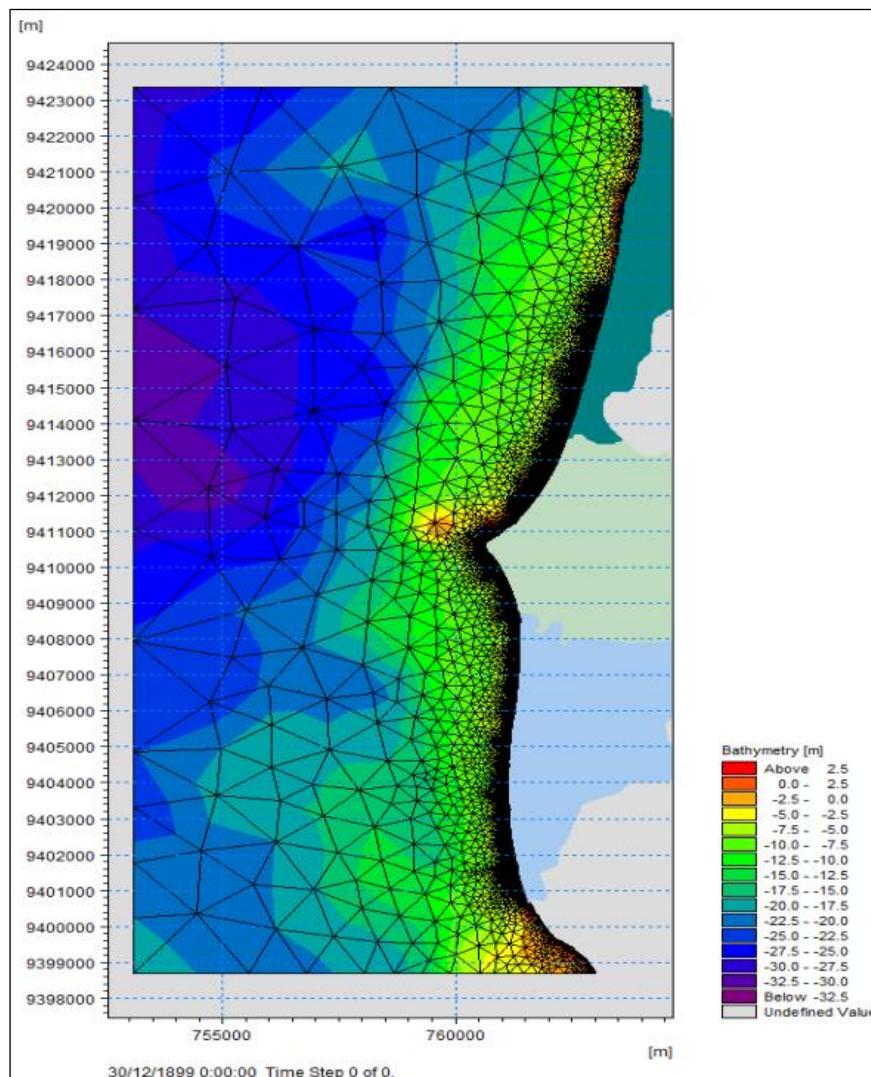
Penelitian terdahulu adalah hasil dari penelitian-penelitian terdahulu yang telah dipublikasikan dan masih relevan dengan simulasi hidrodinamika. Penelitian terdahulu digunakan untuk mengetahui metode dan hasil penelitian yang masih relevan dengan hidrodinamika. Beberapa dari penelitian tersebut digunakan sebagai tolak ukur untuk menganalisis penelitian ini.

Herlina Adelina, dkk (2021) dalam penelitian “**Pemodelan Pasang Surut dengan Menggunakan Metode Flexible Mesh untuk Mengetahui Genangan ROB di Pesisir Karawang**” memiliki tujuan memodelkan pasang surut untuk mengetahui banjir akibat meluapnya air pasang. Program MIKE ZERO banyak digunakan dalam berbagai pemodelan data dan hidrodinamika seperti pemodelan arus, gelombang, pasang surut, dsb menjadikan program ini alasan untuk digunakan dalam penelitian ini. Kondisi batas area pada penelitian ini dibuat dengan *flexible* mesh. Batas area penelitian ditentukan dengan data batimetri dan garis pantai. Pada kondisi batas dimasukkan data pasang surut. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 1. Pada penelitian ini dapat diketahui *MIKE ZERO* dapat membuat pemodelan pasang surut dan model luas genangan rob di pesisir Kabupaten Karawang.



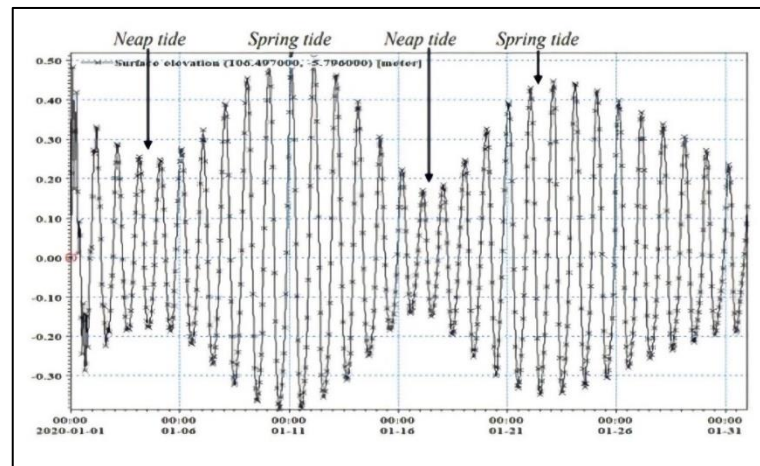
Gambar 1 Pemodelan pasang surut di Pesisir Karawang setelah simulasi

Riswal Karamma, dkk (2022) dalam penelitian “*Numerical Modelling of Shoreline Changes of Galesong, Takalar’s Coast*” memiliki tujuan menganalisis variabilitas garis pantai, terutama proses akresi erosi dengan perhitungan pemodelan komputasi dilakukan menggunakan *MIKE Zero*. Rancangan penelitian ini secara bertahap meliputi pendahuluan, pengumpulan data, pembuatan grid, simulasi model, lalu diakhiri dengan hasil dan pembahasan. Pada penelitian ini, grid boundary area dibuat dengan *flexible* mesh yang dapat dilihat pada Gambar 2. Penelitian ini menggunakan data pasang surut, batimetri, dan angin sebagai *boundary conditions*. Pada penelitian ini dapat diketahui grid flexible mesh pada *MIKE Zero* dapat memodelkan analisis perubahan garis pantai dengan data pasang surut, batimetri, dan angin.



Gambar 2 Boundary condition di area model di Pesisir Takalar

Larasati Putri Hapsari, dkk (2022) dalam penelitian “**Pemodelan Hidrodinamika Pola Arus dan Pasang Surut di Perairan Pulau Tidung**” memiliki tujuan untuk menganalisis tipe pasang surut di Kepulauan Tidung, Jakarta Utara. Alasan penelitian ini menggunakan *MIKE Zero* adalah karena sistem pemodelannya yang komprehensif atau bersifat luas dan lengkap untuk simulasi hidrolika dan fenomena hidrolis di muara, pesisir, dan laut. Data yang digunakan pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan data yang digunakan pada penelitian terdahulu sebelumnya, yaitu data pasang surut dan batimetri. Salah satu hasil dari penelitian ini adalah grafik pasang surut untuk menganalisis jenis pasang surut. Pada Gambar 3 dapat dilihat elevasi muka air tertinggi dan terendah oleh *MIKE Zero*.

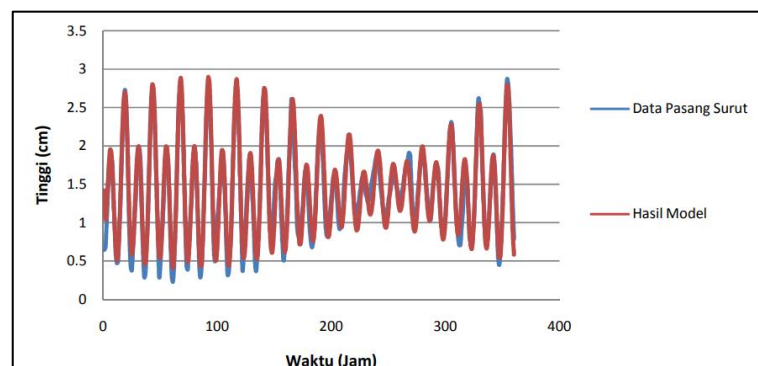


Gambar 3 Hasil running nilai ketinggian pasang surut

Aditya Dendy Pratama, dkk (2015) dalam penelitian “**Peramalan Pasang Surut di Perairan Pelabuhan Kuala Stabas, Krui, Lampung Barat**” menggunakan tiga program yaitu *NAO Tide*, *WORLD TIDES*, dan *MIKE 21*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meramalkan pasang surut di Perairan Pelabuhan Kuala Stabas, Lampung Barat selama 3 tahun dengan menggunakan ketiga program tersebut. Pada penelitian ini menjelaskan program *MIKE 21* dapat meramalkan pasang surut secara *Point* dan *Line Series* yang memiliki arti bahwa program ini dapat meramalkan pasang surut pada satu titik atau lebih dalam garis koordinat. Data input program ini adalah koordinat lokasi penelitian dengan output berupa nilai elevasi pasang surut. Hasil dari verifikasi model *MIKE 21* diperoleh nilai *error* sebesar 12,588%. Penelitian ini menjelaskan perbedaan nilai elevasi hasil model

dengan nilai pengamatan langsung di lapangan tersebut terjadi karena program peramalan pasang surut *MIKE 21* ini berdasarkan data elevasi air laut dunia yang direkam oleh satelit *TOPEX/Poseidon* dan seterusnya digunakan untuk menentukan komponen-komponen pasang surut, dan digunakan sebagai komponen peramalan pasang surut untuk tahun-tahun kedepannya hanya dengan memasukkan koordinat lokasi pengamatan dan tanggal pengamatan yang kita inginkan.

Afrianto Sinaga, dkk (2013) dalam penelitian **“Pola Sebaran Sedimen Tersuspensi Berdasarkan Model Pola Arus Pasang Surut di Perairan Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur”** memiliki tujuan untuk mengetahui pola sebaran sedimen tersuspensi berdasarkan model pola arus pasang surut pada saat pasang surut purnama dan perbani di perairan Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur dengan menggunakan pendekatan model *MIKE 21*. Pemilihan penggunaan model ini berguna untuk menggambarkan pola sebaran sedimen tersuspensi secara spasial dan temporal adalah karena model merupakan protipe atau peniruan dari keadaan alam yang sebenarnya sehingga dapat dibuat prediksi berbagai skenario, dapat mengontrol hasil analisis atau hitungan. Pada penelitian ini, model yang digunakan merupakan model hidrodinamika dengan data batimetri dan data pasang surut sebagai penggerak utama dan nilai inputan yang konstan sebagai masukan konsentrasi sedimen tersuspensi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan elevasi muka air simulasi *MIKE 21* yang di *overlay* dengan data pengukuran lapangan. Pada Gambar 4 dapat dilihat pola pasang surut hasil model dengan data pengukuran memiliki pola yang hampir sama.



Gambar 4 Grafik *overlay* hasil model dengan data pasang surut pengamatan

Ivonne Radjawane, dkk (2018) dalam penelitian “**Model Hidrodinamika Pasang Surut di Perairan Kepulauan Bangka Belitung**” memiliki tujuan untuk menganalisis dan mempelajari dinamika dan pola dari komponen pasang surut di perairan Kepulauan Bangka Belitung. Kondisi perairan di Kepulauan Bangka Belitung memiliki dinamika pasang surut yang unik karena terletak di Selat Karimata yang merupakan pertemuan antara Laut Cina Selatan dan Laut Jawa. Alur metodologi pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan penelitian terdahulu sebelumnya yaitu pengumpulan data, desain model, simulasi model, verifikasi model terhadap data pengukuran, dan analisis kondisi dinamika pasang surut pada hasil simulasi model. Hasil perbandingan elevasi antara simulasi model *MIKE 21* dan observasi pada seluruh stasiun pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1. Dapat dilihat prata-rata perbedaan hasil simulasi model dengan data lapangan stasiun sebesar 12,4% yang dimana angka tersebut masih dapat dikategorikan wajar.

Tabel 1 Presentase verifikasi setiap stasiun

Nama Stasiun	Presentase Perbedaan Eevasi Hasil Simulasi Model <i>MIKE 21</i> terhadap Observasi (%)
Sadai	16,84
Tanjung Pesona	18,45
Tanjung Gudang	10,92
Teluk Gembira	11,12
Tanjung Tinggi	7,02
Selendang Permai	10,03
Rata-rata	12,4

(Sumber: Jurnal Teknik Sipil 25, No. 2: 121-128, 2018)

2.2 Muara

Muara sungai berfungsi sebagai pengeluaran/pembuangan debit sungai, terutama pada waktu banjir, ke laut. Karena letaknya yang berada di ujung hilir, maka debit aliran di muara adalah lebih besar dibanding pada tampang sungai di sebelah hulu. Selain itu, muara sungai juga harus melewatkan debit yang ditimbulkan oleh pasang surut, yang biasa lebih besar dari debit sungai. Sesuai dengan fungsinya tersebut muara sungai harus cukup lebar dan dalam. Permasalahan yang sering dijumpai adalah banyaknya endapan di muara sungai sehingga tampang alirannya kecil, yang dapat mengganggu pembuangan debit sungai ke air laut. Ketidاكلancaran

pembuangan tersebut dapat mengakibatkan banjir di daerah sebelah hulu muara (Triatmojo, 2016).

2.3 Pasang Surut

Pasang surut merupakan peristiwa pergerakan naik atau turunnya permukaan air laut yang disebabkan oleh kombinasi dari gaya gravitasi dan gaya tarik-menarik antara laut, matahari, dan bulan. Pasang surut menyebabkan perubahan kedalaman air dan pusaran yang disebut arus pasang surut sehingga memprediksi kejadian pasang surut sangat penting dalam permasalahan perairan.

Pasang surut dihitung dari persamaan hidrodinamika untuk laut yang memiliki gravitasi sendiri pada bumi yang berputar dan elastis. Gaya penggerak adalah perubahan kecil dalam gravitasi akibat gerak bulan dan matahari relatif terhadap bumi. Variasi kecil dalam gravitasi muncul dari dua mekanisme terpisah. Untuk melihat cara kerjanya, pertimbangkan rotasi bulan terhadap bumi.

1. Bulan dan bumi berotasi di sekitar pusat massa sistem bumi-bulan. Hal ini menimbulkan percepatan sentripetal di permukaan bumi yang mendorong air menjauh dari pusat massa dan menuju sisi bumi menjauhi bulan.
2. Pada saat yang sama, terjadi tarikan gravitasi timbal balik antara massa di bumi dan bulan menyebabkan air tertarik di bulan.

Jika bumi adalah planet samudra sangat dalam maka kedua proses tersebut akan menghasilkan sepasang tonjolan air di bumi, satu sisi menghadap bulan dan satu sisi lainnya menjauhi bulan. Pasang surut menghasilkan arus yang kuat di banyak bagian lautan. Arus pasang surut dapat memiliki kecepatan hingga 5 m/s di perairan pesisir (Stewart, 2000).

Pasang surut erat kaitannya dengan gaya gravitasi oleh bulan dan matahari. Pasang tertinggi terjadi pada saat bulan purnama, karena gravitasi bulan memiliki pengaruh yang lebih besar daripada gravitasi matahari. Walaupun massa bulan jauh lebih kecil daripada massa matahari, namun jarak bulan ke bumi lebih dekat daripada jarak matahari ke bumi, hal ini sesuai dengan hukum Newton tentang gravitasi yang dituangkan dalam persamaan berikut,

$$F_g = G \frac{M_1 M_2}{R^2} \quad (1)$$

Dimana M_1 dan M_2 adalah massa masing-masing benda (kilogram), R adalah jarak antara kedua benda (meter), dan G adalah konstanta universal ($6,6 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{Kg}^2$) (Cahyana, 2011).

Menurut Triatmodjo (2016), pasang surut adalah fluktuasi (gerakan naik turunnya) muka air laut secara berirama karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi lebih dekat maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap massa air laut di bumi lebih besar daripada gaya tarik matahari. Gaya tarik bulan yang memengaruhi pasang surut ada 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari. Donkers (1964) dalam Pasomba, dkk (2019) berpendapat bahwa pasang surut laut merupakan fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi, dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil.

2.2.1 Metode Analisis Pasang surut

Dalam analisis pasang surut terdapat komponen-komponen utama pasang surut yang terdiri dari komponen tengah hari dan harian. Dr. Poerbandono dalam Pasomba (2019) menjelaskan secara garis besar konstanta harmonik pasang surut dibagi menjadi empat kelompok utama, yaitu:

- a. Konstanta harmonik periode setengah harian (*semidiurnal period tide*)
- b. Konstanta harmonik periode harian (*diurnal period time*)
- c. Konstanta harmonik periode panjang (*long period time*)
- d. Konstanta harmonik periode dangkal (*shallow water tide*)

Suyarso dalam Pasomba (2019) menjelaskan komponen-komponen utama pasang surut terdiri dari komponen harian dan tengah harian. Namun demikian, karena interaksinya dengan bentuk (morfologi) pantai dan superposisi antar gelombang pasang surut komponen utama, akan terbentuklah komponen-

komponen pasang surut yang baru. Detail komponen-komponen harmonik penentuan dalam penentuan konstanta pasang surut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Komponen/konstanta harmonik utama pasang surut

Jenis	Nama Komponen	Periode (Jam)	Fenomena
Semidiurnal	M ₂	12,24	Gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	S ₂	12,00	Gravitasi matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	N ₂	12,66	Bulan akibat variasi bulanan jarak bumi ke bulan
	K ₂	11,97	Matahari ke bulan akibat perubahan sudut deklinasi matahari ke bulan
Diurnal	K ₁	23,93	Deklinasi sistem bulan dan matahari
	O ₁	25,82	Deklinasi bulan
	P ₁	24,07	Deklinasi matahari
Periode Panjang	M _f	327,86	Variasi setengah bulanan
	M _m	661,30	Variasi bulanan
	S _{sa}	2191,43	Variasi semi tahunan
Periode Dangkal	2SM ₂	11,61	Interaksi bulan dan matahari
	MNS ₂	13,13	Interaksi bulan dan matahari dengan perubahan jarak bulan akibat lintasan berbentuk elips
	MK ₃	8,18	Interaksi bulan dan matahari dengan perubahan jarak bulan akibat lintasan berbentuk elips
	M ₄	6,21	2 x kecepatan sudut M ₂
	MS ₄	2,20	Interaksi M ₂ dan S ₂

Sumber: Abdul Malik, 2008, Pasang Surut

Dalam pelaksanaan perhitungan pasang surut air laut terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan konstanta harmonik pasang surut selama periode waktu, yaitu:

1) Metode *Admiralty*

Metode harmonik yang digunakan untuk menghitung dua konstanta harmonik, yaitu amplitudo dan beda fase dalam rentang waktu yang pendek (29 hari). Output yang dihasilkan dalam metode *admiralty* meliputi amplitudo (A) dan fase (g) dari setiap komponen pasang surut dan elevasi beberapa muka air penting. Komponen pasang surut hasil pengolahan metode *admiralty* meliputi 9 komponen utama pasang surut yaitu: M₂, S₂, N₂, K₁, O₁, P₁, M₄, MS₄, dan K₂. Sedangkan nilai elevasi yang dihasilkan dari pengolahan data ini antara lain: MSL, HWL, HHWL

dan LLWL. Dalam pengolahan lebih lanjut, nilai amplitudo (A) digunakan untuk menentukan nilai Formzhal (F), sehingga akan didapatkan tipe pasang surut pada lokasi penelitian.

2) Metode *Least Square*

Perhitungan metode *Least Square* dilakukan dengan mengabaikan faktor meteorologis, namun dapat diturunkan dengan menggunakan nilai persamaan yang telah ditetapkan. Data pasang surut pada lokasi penelitian yang telah diolah akan menghasilkan nilai kedudukan muka air yang berupa nilai LWL (*Lowest Water Level*), MSL (*Mean Sea Level*) dan HWL (*Highest Water Level*). Pengolahan data ini juga menghasilkan nilai komponen pasang surut yang meliputi nilai amplitudo (A), fase, serta nilai frekuensi dari masing-masing komponen pasang surut. Nilai amplitudo komponen pasang surut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai formzhal (F) sehingga dapat diketahui tipe pasang surut dari lokasi penelitian.

3) Metode *Fast Fourier Transform (FFT)*

Pengolahan data pasang surut menggunakan metode FFT bertujuan untuk mengubah sistem dengan fungsi yang kompleks menjadi penjumlahan dari sistem sederhana, dalam hal ini pasang surut akan dirubah menjadi penjumlahan fungsi sinusoidal. Pengolahan dengan metode FFT menghasilkan nilai komponen-komponen pasang surut yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai komponen pasang surut tersebut meliputi nilai amplitudo (A) dan fase (ϕ). Dari nilai amplitude tersebut kemudian akan diperoleh perhitungan nilai formzhal sehingga diketahui tipe pasang surut di lokasi penelitian.

2.2.2 Gaya Pembangkit Pasang Surut

Gaya pembangkit pasang surut disebabkan oleh gaya gravitasi dan gaya tarik menarik antara matahari, bumi, bulan. Ongkosongo (1989) menjelaskan gaya tarik menarik antara bumi dan bulan tersebut menyebabkan sistem bumi-bulan menjadi satu sistem kesatuan yang beredar bersama-sama sekeliling sumbu perputaran bersama (*common axis of revolution*). Pembentukan pasang surut air laut sangat dipengaruhi oleh gerakan utama matahari dan bulan, yaitu:

- a. Revolusi bulan terhadap bumi, dimana orbitnya berbentuk elips dan memerlukan periode untuk menyelesaikan revolusi itu selama 29,5 hari.
- b. Revolusi bumi terhadap matahari dengan orbitnya berbentuk elips, periode yang diperlukan adalah 365,25 hari.
- c. Perputaran bumi terhadap sumbunya sendiri, periode yang diperlukan untuk gerakan ini adalah 24 jam.

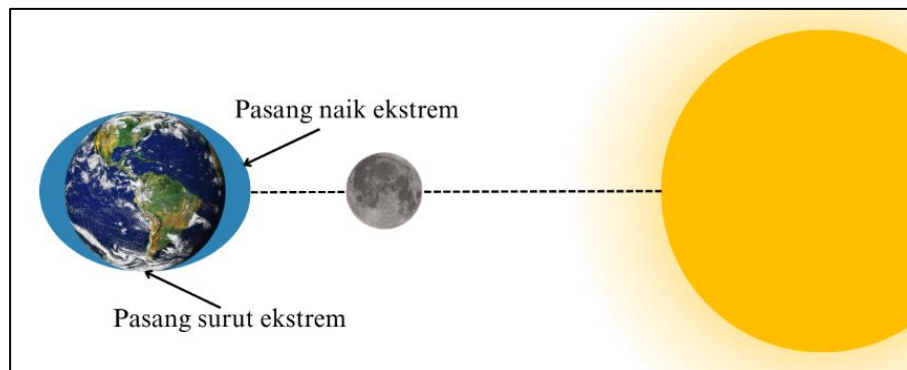
Penjelasan diatas adalah dengan anggapan bahwa bumi dikelilingi oleh laut secara merata tapi kenyataannya di bumi terdapat daratan. Selain itu dasar laut juga tidak rata (palung, perairan dangkal, selat, teluk, dsb). Keadaan tersebut menyebabkan penyimpangan dari kondisi yang ideal, dan dapat menimbulkan pasang surut yang berbeda di suatu lokasi. Selain itu, posisi bulan dan matahari juga berubah-ubah terhadap bumi, sehingga tinggi pasang surut tidak konstan dalam satu periode panjang (satu bulan) (Triatmodjo, 2016)

2.2.3 Jenis Pasang Surut

Pengaruh adanya gaya tarik matahari, bumi, dan bulan membuat lapisan air yang semula berbentuk bola menjadi elips karena peredaran bumi dan bulan pada orbitnya (Triatmodjo, 2016). Berdasarkan posisi matahari, bumi, dan bulan maka dibedakan menjadi dua jenis pasang surut.

1) Pasang Purnama

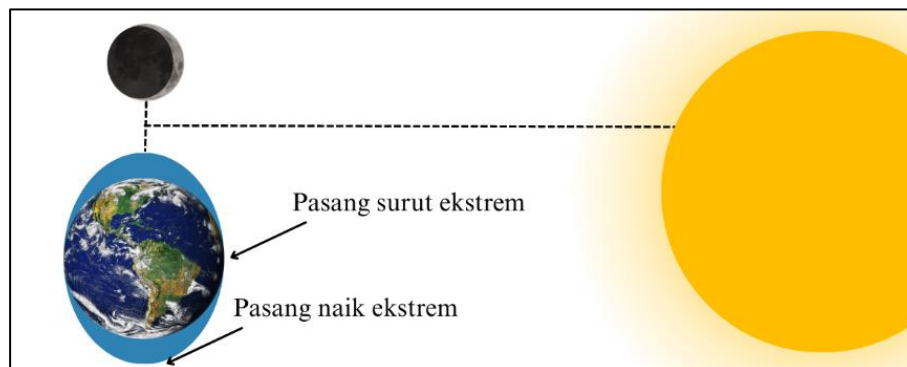
Pasang purnama atau *spring tides* terjadi ketika bulan memasuki fase bulan purnama dan bulan baru (sekitar tanggal 1 dan 15). Fenomena tersebut terjadi karena matahari, bumi, dan bulan sejajar (membentuk sudut 180°). Karena posisi ketiga benda astronomi tersebut yang sejajar sehingga gaya tarik menariknya tinggi yang menyebabkan pasangannya tinggi dan surutnya rendah. Oleh karena itu, fenomena pasang purnama ditandai dengan pasang naik yang sangat tinggi dan ketika surut akan sangat rendah.



Gambar 5 Pasang purnama

2) Pasang Perbani

Pasang perbani atau *neap tides* terjadi ketika bulan memasuki fase paruh akhir dan paruh awal. Fase $\frac{3}{4}$ atau $\frac{1}{4}$ bulan (bulan sabit) juga termasuk dalam jenis pasang surut perbani. Fenomena tersebut terjadi karena posisi matahari, bumi, dan bulan yang tegak lurus (membentuk sudut 90°). Ketika pasang perbani terjadi maka pasang naik dan pasang surut yang terjadi tidak setinggi dan serendah ketika pasang purnama terjadi.



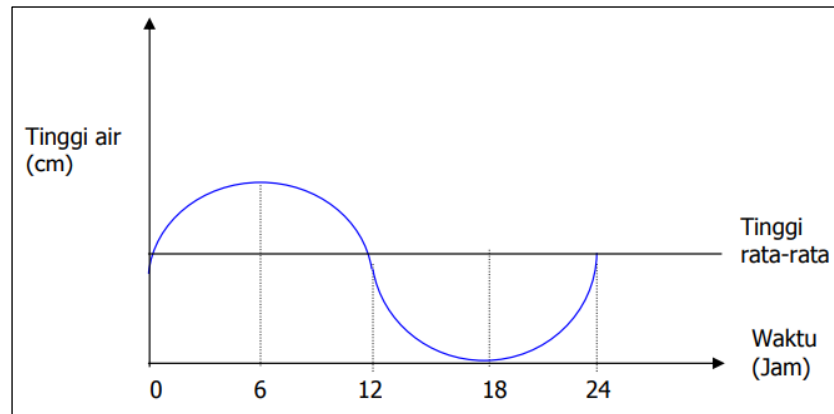
Gambar 6 Pasang perbani

2.2.4 Tipe Pasang Surut

Bentuk pasang surut berbeda-beda di setiap daerah. Suatu daerah dapat terjadi satu atau dua kali pasang surut dalam satu hari. Pasang surut di Indonesia dibagi menjadi empat tipe berdasarkan periode gelombangnya, yaitu:

1) Pasang Surut Diurnal (Harian Tunggal)

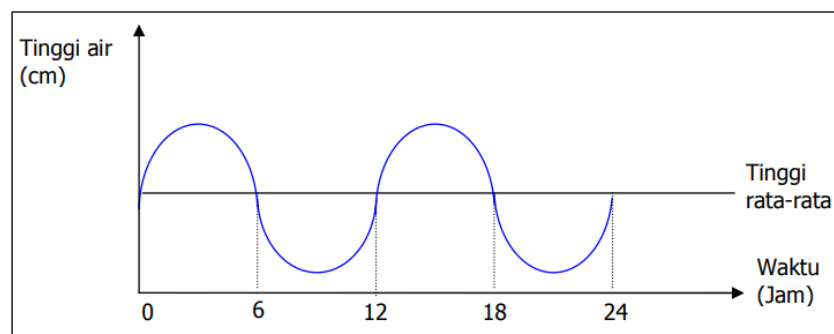
Tipe pasang surut yang terjadi sebanyak satu kali pasang naik dan satu kali pasang surut dalam satu hari. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di Selat Karimata.



Gambar 7 Pola gerak pasang surut diurnal (harian tunggal)

2) Pasang Surut Semidiurnal (Harian Ganda)

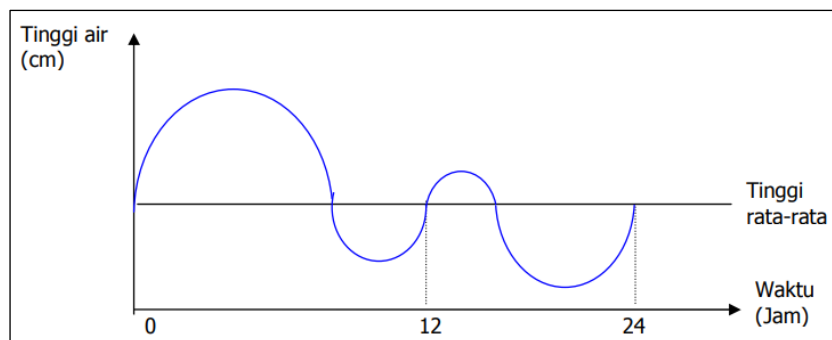
Tipe pasang surut yang terjadi sebanyak dua kali pasang naik dan dua kali pasang surut dalam satu hari. Periode pasang surut ini rata-rata 12 jam 45 menit. Pasang surut tipe ini terdapat di Selat Malaka hingga Laut Andaman.



Gambar 8 Pola gerak pasang surut semidiurnal (harian ganda)

3) Pasang Surut Campuran Condong Harian Tunggal (*Mixed Tide Prevailing Diurnal*)

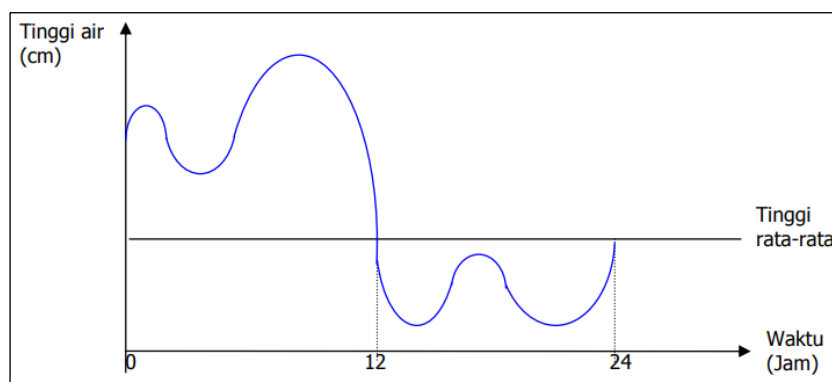
Tipe pasang surut yang satu hari terjadi satu kali pasang naik dan pasang surut, namun terkadang dalam beberapa waktu terjadi dua kali pasang naik dan pasang surut dengan periode dan tinggi yang sangat berbeda. Pasang surut tipe ini terdapat di Selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.



Gambar 9 Pola gerak pasang surut campuran condong harian tunggal

4) Pasang Surut Campuran Condong Harian Ganda (*Mixed Tide Prevailing Semi Diurnal*)

Tipe pasang surut dalam satu hari terjadi dua kali pasang naik dan pasang surut, namun terkadang terjadi satu kali pasang naik dan pasang surut dengan periode dan tinggi yang berbeda. Pasang surut tipe ini terdapat di pantai selatan Jawa dan Indonesia bagian timur.



Gambar 10 Pola gerak pasang surut campuran condong harian ganda

Tipe pola gerak muka air pasang surut harian ganda banyak terjadi di wilayah Indonesia. Pola tersebut dapat dilihat pada Gambar 11. Untuk menentukan tipe pasang surut dapat digunakan bilangan Formzahl yang memiliki range tertentu untuk menentukan tipe pasang surut di suatu wilayah. Bilangan Formzahl adalah hitungan membagi antara amplitudo konstanta pasang surut harian utama dengan amplitudo konstanta pasang surut ganda utama yang dapat dinyatakan dalam bentuk,

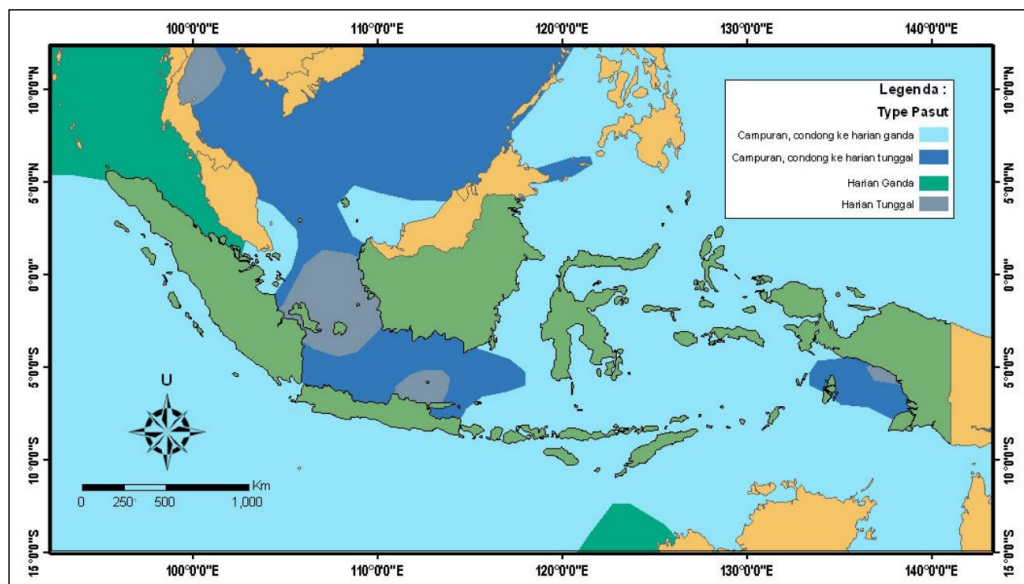
$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2} \quad (2)$$

Dimana:

- F = Bilangan Formzahl
- AK_1 = Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari
- AO_1 = Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- AM_2 = Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- AS_2 = Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Dengan ketentuan tipe pasang surut berdasarkan nilai F adalah sebagai berikut,

1. $F \leq 0,25$ = Pasang surut harian ganda
2. $0,25 < F \leq 1,5$ = Pasang surut campuran condong harian ganda
3. $1,25 < F \leq 3,0$ = Pasang surut campuran condong harian tunggal
4. $F > 3,0$ = Pasang surut harian tunggal



Gambar 11 Pola tipe pasang surut di Indonesia

2.2.5 Elevasi Muka Air

Berdasarkan data pasang surut maka dapat diketahui suatu elevasi muka air karena mengingat elevasi muka air suatu daerah berubah setiap saat. Elevasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Elevasi muka air berfungsi dalam perencanaan bangunan pantai dan pelabuhan. Elevasi muka air rencana dapat ditentukan menggunakan komponen pasang surut yang didapat dari perhitungan analisis pasang surut dengan metode *admiralty* (Pasomba, dkk, 2019).

Tabel 3 Definisi elevasi muka air

No.	Nama	Keterangan
1	Muka Air Tinggi (<i>High Water Level, HWL</i>)	Muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam siklus pasang surut
2	Muka Air Rendah (<i>Low Water Level, LWL</i>)	Kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam siklus pasang surut
3	Muka Air Tinggi Rerata (<i>Mean High Water Level, MHWL</i>)	Rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun
4	Muka Air Rendah Rerata (<i>Mean Low Water Level, MLWL</i>)	Rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun
5	Muka Air Laut Rerata (<i>Mean Sea Level, MSL</i>)	Muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata.
6	Muka Air Tinggi Tertinggi (<i>Highest High Water Level, HHWL</i>)	Air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati
7	Muka Air Rendah Terendah (<i>Lowest Low Water Level, LLWL</i>)	air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati

Sumber: Teknik Pantai (2016)

2.3 Arus

Arus laut adalah pergerakan massa air yang disebabkan oleh angin, yang bertiup di permukaan laut pada kedalaman kurang dari 200 m dan berpindah dari satu tempat dengan tekanan udara yang tinggi ke tempat lain dengan tekanan udara yang sangat luas terjadi di seluruh lautan di dunia. Menurut Triatmodjo (2016), arus laut adalah gerakan massa air dalam arah vertikal atau horizontal yang dapat menyebabkan keseimbangan distribusi massa dan suhu. Arus laut di suatu perairan adalah superposisi dari berbagai arus yang disebabkan oleh sejumlah faktor termasuk angin, perbedaan densitas, pasang surut, gelombang, dan sebagainya. Arus laut dipengaruhi oleh sifat air (viskositas/densitas), gravitasi bumi, kedalaman air, dan rotasi bumi.

2.3.1 Arus Pasang Surut

Arus pasang surut adalah aliran air horizontal yang periodik yang merupakan respon terhadap naik turunnya muka air yang disebabkan oleh pasang surut. Sedangkan arus non pasang surut adalah arus yang pergerakannya tidak bergantung pada pasang surut (Triatmodjo, 2016).

2.4 Debit

Debit adalah besar volume aliran yang melalui suatu penampang melintang sungai persatuan waktu, dan biasanya dinyatakan dalam satuan meter per detik (m^3/det) atau liter per detik. Pada dasarnya pengukuran debit adalah pengukuran luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka air. Debit dapat dihitung dengan persamaan berikut;

$$Q = A \cdot v \quad (3)$$

Dimana Q adalah debit (m^3/det), A luas penampang (m^2), dan v adalah kecepatan arus pada luas penampang basah (m/det)

2.5 Batimetri

Batimetri adalah pengukuran dan pemetaan topografi laut. Peta batimetri menampilkan dataran dengan garis-garis kontur. Namun, peta batimetri memiliki perbedaan dengan peta topografi pada keterangan petanya. Peta batimetri adalah peta yang menampilkan bentuk kedalaman wilayah di bawah permukaan air laut, sedangkan peta topografi menampilkan bentuk ketinggian wilayah di atas permukaan air laut.

2.6 Konsep Hidrodinamika

Hidrodinamika merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida. Hidrodinamika didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari gerak fluida, terutama zat cair yang tidak dapat ditekan (*incompressible liquid*) yang dipengaruhi oleh gaya eksternal dan internal. Hidrodinamika terdiri dari beberapa konsep yaitu; momentum, kontinuitas, tekanan, viskositas, waktu, turbulensi, gesekan, transport, dan sebagainya.

Pemodelan hidrodinamika dalam dilakukan dengan menggunakan persamaan matematis sebagai persamaan pengatur dan kondisi batas model (Karamma, 2022)

Gaya gravitasi merupakan gaya yang dominan dalam hidrodinamika. Gaya berat dari air laut yang merupakan akibat dari adanya gravitasi, menghasilkan tekanan hidrostatis. Perubahan gravitasi yang diakibatkan oleh matahari dan bulan terhadap bumi, menyebabkan terjadinya pasang surut, arus, dan pencampuran. Gaya gesek adalah gaya yang bekerja pada dua permukaan yang saling bersentuhan dan terjadi gerak relatif antara keduanya. Permukaan dalam hidrodinamika laut dapat berupa hembusan angin di atas permukaan laut. Angin yang berhembus mengantarkan momentum horizontal kepada laut sehingga menghasilkan arus. Gaya Coriolis adalah gaya semu yang dominan memengaruhi gerak dalam sistem koordinat yang disesuaikan terhadap bumi (Cahyani, 2011)

2.7 Program *MIKE ZERO*

MIKE adalah salah satu dari program dari *DHI*. *MIKE* adalah program sistem pemodelan dua dimensi berbasis komputer untuk muara, perairan pesisir, dan laut. Program ini cocok untuk untuk memodelkan aliran, ketinggian air, gelombang, sedimen, transportasi polutan, dan kualitas air. Modul dasar *MIKE* berisi fasilitas pemodelan hidrodinamika, basis data yang sederhana, fasilitas grafis, dan pra- dan pasca-pemrosesan.

MIKE ZERO adalah nama yang umum digunakan oleh salah satu program *marine modelling system* yang berbasis numerik. Program *MIKE* terdapat banyak modul yang dapat digunakan untuk membuat model arus, gelombang, dan sedimentasi di suatu perairan baik di lautan, area pantai, sungai, danau serta area lain sesuai kebutuhan (Suharyo dan Adrianto, 2018).

2.7.1 Model Hidrodinamika *MIKE21*

Pada aplikasi *MIKE Zero* terdapat beberapa item yang dibuat berdasarkan kebutuhan yang ingin diolah. Salah satunya adalah *MIKE21* yang merupakan sistem pemodelan hidrodinamika 2D untuk muara, pesisir, dan laut terbuka. *MIKE21* menggunakan persamaan berdasarkan persamaan Navier-Stokes 2/3 dimensi rata-rata *incompressible* Reynolds pada asumsi Boussineq dan tekanan hidrostatis.

Dengan demikian, pemodelan terdiri dari persamaan kontinuitas, momentum, temperatur, salinitas, dan densitas dan ditutup dengan skema penutupan turbulen. Kepadatan tidak tergantung pada tekanan, tetapi hanya pada suhu dan salinitas.

Di bawah adalah persamaan dengan koordinat kartesian. Persamaan pengaturannya adalah persamaan kontinuitas yang tertulis sebagai berikut,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (4)$$

dan persamaann momentum dua horizontal untuk komponen x adalah,

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = 0 - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial p}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \\ \left(V_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned} \quad (5)$$

dan persamaann momentum dua horizontal untuk komponen y adalah,

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = 0 - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial p}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \\ \left(V_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned} \quad (6)$$

Dimana:

t	=	Waktu (s)
x, y, z	=	Koordinat kartesius
u, v, w	=	Komponen kecepatan aliran
S	=	Besaran debit karena titik sumber (m^3/s)
g	=	Gravitasi bumi (m/s^2)
F	=	Gaya (N)
ρ	=	Massa jenis (kg/m^3)

2.8 RMSE (*Root Mean Square*)

Evaluasi dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) adalah sebuah metode konvensional yang digunakan untuk menghitung rata-rata ukuran dari sebuah deviasi dan disebut juga sebagai perbedaan antara nilai aktual dengan nilai prediksi (Barreto dan Howland, 2006). RMSE adalah metode pengukuran dengan mengukur perbedaan nilai dari prediksi sebuah model sebagai estimasi atas nilai yang diobservasi. *Root Mean Square Error* adalah hasil dari akar kuadrat Mean Square

Error. Keakuratan metode estimasi kesalahan pengukuran ditandai dengan adanya nilai RMSE yang kecil. Jadi, *Root Mean Square Error* (RMSE) atau disebut juga sebagai *Root Mean Square Deviation* (RMSD) suatu ukuran yang digunakan dari perbedaan antara nilai-nilai yang diprediksi oleh sebuah model dengan nilai-nilai aktual (Bisri dan Wahono, 2015). RMSE (*root mean square error*) secara matematis adalah:

$$\sqrt{\frac{1}{2} \sum_i^N |\eta_{Mi} - \eta_{Oi}|^2} \quad (7)$$

Dimana:

N = Waktu (s)

η_{Mi} = Elevasi muka air hasil simulasi *MIKE Zero* (m)

η_{Oi} = Elevasi muka air pengukuran lapangan (m)