

**PEMODELAN HIDRODINAMIKA 2 DIMENSI ARUS DAN GELOMBANG UNTUK
OPERASI PENDARATAN AMFIBI DI PESISIR PULAU SELARU KABUPATEN
MALUKU TENGGARA BARAT (STUDI KASUS: LABUHAN LEMIAN PULAU SELARU)**

***MODELING OF 2-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC CURRENTS AND WAVES FOR
AMPHIBIOUS LANDING OPERATIONS ON THE COAST OF SELARU ISLAND
OF WEST SOUTHEAST MALUKU REGENCY
(CASE STUDY: LABUHAN LEMIAN SELARU ISLAND)***

Agustinus Apomfires Watofa¹, Widodo Setiyo Pranowo², Dian Adrianto³

¹Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut, Prodi D3 Hidro-Oseanografi
E-mail : watofagustinus@gmail.com

²Pusat Riset Kelautan Kementerian Kelautan & Perikanan Republik Indonesia
E-mail : widodo.pranowo@gmail.com

³Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI Angkatan Laut
E-mail : aqilaadrianto@gmail.com

ABSTRAK

Operasi Pendaratan Amfibi merupakan operasi militer yang bersifat ofensif maupun defensif dari laut menggunakan kapal pendarat untuk memproyeksikan kekuatan darat disuatu pesisir pantai dengan kemungkinan terdapat area musuh. Informasi tentang daerah dengan waktu yang efektif untuk melakukan pendaratan sangat penting demi keberhasilan suatu operasi. Berkaitan dengan operasi ini, perlu dibuat sebuah penelitian untuk mengetahui karakteristik dan pola Arus dan Gelombang di daerah pendaratan, mensimulasikan data Arus dan Gelombang serta bisa menampilkan data yang informatif. Sehingga tujuan dari pemodelan hidrodinamika untuk mengetahui pola dan karakteristik Arus dan Gelombang baik itu arah, kecepatan dan tinggi. Dengan menampilkan kondisi pemodelan hidrodinamika 2 dimensi daerah pendaratan tersebut.

Salah satu metode atau caranya dengan pendekatan pemodelan numerik, analisa karakteristik arus laut dan gelombang laut untuk pendaratan dengan mengkonversi arah dan kecepatan angin serta arah dan tinggi gelombang menggunakan perangkat lunak Software Mike 21, perangkat lunak ArcGIS 10.4.1, sumber data sekunder dari Disosemet Pushidrosal dan juga PLI Nomor 382 Tahun 2018 dari Dispeta Pushidrosal dengan digitasi menghasilkan angka kedalaman dan garis pantai. Hasil dari pemodelan hidrodinamika berupa data Arus dan Gelombang yang didukung juga oleh angin dan pasang surut, dalam menampilkan hasil ada juga perhitungan RMSE dan Korelasi untuk mengetahui nilai error dan kedekatan antara nilai hasil dari data lapangan dengan data dari simulasi model. Dengan menampilkan simulasi animasi diharapkan mampu menggambarkan area tersebut dengan pendaratan kapal, pasukan dan manuver didaerah yang telah digunakan dengan menampilkan parameter sebagai data output dari Flow Model dan Spectral Wave per tiga jam di empat Musim yang

berbeda dalam satu tahun yang digunakan sebagai informasi penting untuk melakukan pendaratan.

Dalam pemodelan dengan Software Mike 21 akan mendapatkan pola dan karakteristik Arus dan Gelombang di daerah pendaratan, dimana dari hasil perhitungan RMSE dan Korelasi untuk data Arus dan Gelombang menghasilkan data arus dengan nilai RMSE 0.034 (3.4 %) Korelasi 0.00456 untuk data Gelombang dengan nilai RMSE 0.184(18.4 %) dan Korelasi 0.417 data-data tersebut dihitung dengan membandingkan antara data lapangan dan data model. Sedangkan untuk pemodelan hidrodinamika membutuhkan peralatan yang memiliki kapabilitas cukup tinggi sehingga memudahkan dalam pengolahan.

Kata Kunci : Pemodelan Hidrodinamika 2 Dimensi Arus dan Gelombang, Operasi Pendaratan Amfibi di Pesisir Pulau Selaru, Software Mike 21, ArcGIS 10.4.1.

ABSTRACT

Amphibious Landing Operations are military operations that are offensive and defensive from the sea using landing craft to project land forces on the coast with the possibility of enemy areas. Information about areas with an effective time to make landings is essential for the success of an operation. In connection with this operation, a study is needed to find out the characteristics and patterns of Currents and Waves in the landing area, simulate Current and Wave data and be able to display informative data. So the purpose of hydrodynamic modeling is to know the patterns and characteristics of currents and waves both direction, speed and height. By displaying the 2-dimensional hydrodynamic modeling conditions of the landing area.

One method or way with numerical modeling approach, analysis of the characteristics of ocean currents and ocean waves for landing by converting the direction and speed of wind and wave direction and height using Software Mike 21 software, ArcGIS software 10.4.1, secondary data sources from Pushidrosal Disosemet and pli Number 382 of 2018 from Dispeta Pushidrosal with digitization produces depth and coastline numbers. The results of hydrodynamic modeling in the form of Current and Wave data supported also by wind and tides, in displaying the results there are also RMSE and Correlation calculations to determine the error value and proximity between the value of the results of field data with data from model simulations. By displaying animated simulations it is expected to be able to depict the area with ship landings, troops and maneuvers in the area that have been used by displaying parameters as output data from flow models and spectral waves per three hours in four different seasons in one year that are used as important information for landing.

In modeling with Mike 21 Software will get the pattern and characteristics of Current and Wave in the landing area, where from the results of rmse calculations and correlations for current and wave data produce current data with a value of RMSE 0.034 (3.4 %) Correlation of 0.00456 for wave data with values RMSE 0.184 (18.4%) and correlations 0.417 data are calculated by comparing between field data and model data. As for hydrodynamic modeling requires equipment that has high enough capability to facilitate in processing.

Keywords : *2-Dimensional Hydrodynamic Modeling of Currents and Waves, Amphibious Landing Operations on the Coast of Selaru Island, Mike Software 21, ArcGIS 10.4.1.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Operasi Amfibi adalah operasi yang mengintegrasikan berbagai jenis kekuatan yaitu kapal, pesawat udara, dan pasukan pendarat dalam suatu serangan terhadap pantai musuh dan atau berpotensi dikuasai musuh dan bersifat kelautan dimana yang memegang peranan penting TNI AL sebagaimana tercermin dalam penyelenggara operasi tersebut. Operasi Amfibi merupakan Operasi Gabungan TNI yang diselenggarakan dalam rangka Operasi Pertahanan baik yang bersifat Ofensif Strategis maupun Defensif Strategis. Sebagai Operasi Gabungan yang melibatkan beberapa unsur angkatan, penyelenggara Operasi Amfibi tidak terlepas dari dasar operasi gabungan. (Doktrin TNI tentang Operasi Amfibi, 2013).

TNI Angkatan Laut memiliki beberapa pasukan khusus yang bertugas melaksanakan infiltrasi dan eksfiltrasi ke daerah musuh. Pasukan- pasukan tersebut harus lebih profesional dalam menyiapkan data pantai pendaratan bagi pasukan pendarat dan kendaraan tempur (ranpur). Untuk penyiapan pantai pendaratan membutuhkan data Hidrografi, Oseanografi, dan Meteorologi, untuk memperoleh data tersebut harus memiliki keahlian khusus, demikian juga pengolahan dan penyajian datanya. Data spasial berupa data arus dan gelombang dalam penggunaannya menyesuaikan waktu operasi yang rahasia, dalam menyajikan data arus dan gelombang berupa pemodelan

hidrodinamika menggunakan Software Mike 21. Data arus dan gelombang digunakan untuk mengetahui pola dan karakteristiknya di pantai pendaratan, dimana data arus untuk mengetahui arah dan kecepatannya yang mempengaruhi pergerakan dari kapal dan kendaraan tempur saat pendaratan, Sedang untuk data gelombang untuk mengetahui tinggi dan arah gelombang karena akan berpengaruh pada saat manuver kapal dan kendaraan tempur serta juga menyebabkan masalah saat pendaratan.

Berdasarkan uraian tersebut maka dengan menggunakan hasil pemodelan hidrodinamika arus dan gelombang kita dapat memperoleh data hasil prediksi maupun data sebenarnya sesuai dengan waktu dan kondisi tertentu mendekati kondisi sebenarnya.

BAHAN DAN METODE

Rumusan Masalah

Data informasi tentang arus, gelombang, angin dan pasang surut sangat dibutuhkan oleh pasukan pendarat agar pelaksanaan operasi pendaratan amfibi kering atau basah berjalan dengan lancar dan aman. Pemodelan hidrodinamika pantai pendaratan di pantai Labuhan Lemian Pulau Selaru dapat digunakan untuk memprediksi karakteristik dan pola arus dan gelombang. Berdasarkan

permasalahan tersebut sehingga muncul pertanyaan akan penelitian tersebut:

1. Bagaimanakah pola dan karakteristik Arus dan Gelombang di Labuhan Lemian Pulau Selaru.
2. Bagaimanakah mensimulasikan Arus dan Gelombang di Labuhan Lemian Pulau Selaru.

Bagaimanakah menyajikan hasil simulasi supaya lebih informatif (animasi).

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pola arah dan karakteristik arus dan gelombang sebagai data input pemodelan hidrodinamika arus dan gelombang.
2. Mendapatkan pola arah dan karakteristik arus dan gelombang dengan pemodelan hidrodinamika arus dan gelombang diperairan Kepulauan Tanimbar (Pulau Selaru) Maluku Tenggara Barat.
3. Menyajikan data hasil akhir simulasi pemodelan menjadi informasi untuk pertimbangan (peta) taktis pendaratan amfibi.

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah menghasilkan data pemodelan 2 dimensi yang berguna untuk satuan pemakai dalam hal ini Kopaska dan Taifib sehingga dapat menyajikan data informasi secara visual tentang situasi dan kondisi daerah pendaratan operasi amfibi.

Aspek Akademis (Keilmuan)

Pemodelan hidrodinamika 2 dimensi arus dan gelombang dibangkitkan angin dan pasang surut yang telah

dilaksanakan dapat memberikan manfaat serta dapat digunakan untuk mendukung kegiatan belajar di STTAL, Pusdikhidros, Pushidros TNI AL dan dapat dikembangkan lagi untuk pengguna lainnya.

Aspek Praktis (Kegunaan)

Sedangkan untuk aspek praktis (kegunaan) hasil pemodelan hidrodinamika 2 dimensi arus dan gelombang dibangkitkan angin dan pasang surut diharapkan :

1. Dapat digunakan untuk mendukung pasukan khusus dan pasukan pendarat dalam melaksanakan operasi amfibi.
2. Dapat digunakan untuk pembelajaran bagi pengguna tentang pemodelan arus dan gelombang.
3. Diharapkan dengan pemodelan ini ada penambahan variable baru untuk menambah pengetahuan dan mengganti variabel lama yang masih baku.

Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian Studi kasus di Labuhan Lemian Pulau Selaru Kabupaten Maluku Tenggara Barat (MTB)
2. Data yang digunakan adalah Data hasil survei hidro-oseanografi dan meteorologi pantai pendaratan di Perairan Pulau Selaru Maluku Tenggara Barat yang dilaksanakan oleh tim survei Pushidrosal yang dipakai sebagai data.
3. Pengolahan interpolasi dan ekstraksi data arus dan gelombang menggunakan perangkat lunak Mike 21 dan ArcGIS 10.4.1

Landasan Teori

Teori-teori pendukung adalah semua teori dan metode yang mendukung serta dipergunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah:

Pemodelan

Model adalah adalah rencana, representasi atau deskripsi yang menjelaskan suatu objek, sistem, atau konsep, yang seringkali berupa penyederhanaan atau idealisasi. Bentuknya dapat berupa model fisik (maket, bentuk *prototipe*), model citra (gambar, komputerisasi, grafis, dll) atau rumusan matematis. (Anonim, 2012). Sehingga pemodelan adalah suatu bentuk penyederhanaan dari sebuah elemen dan komponen yang sangat kompleks untuk memudahkan pemahaman dari informasi yang dibutuhkan.

Menurut Susanto (2010) Karakteristik pada pemodelan adalah sebagai berikut:

1. Dibuat dalam bentuk grafis dan tambahan keterangan secara tekstual.
2. Dapat diamati dengan pola *top-down* dan *partitioned*.
3. Memenuhi persyaratan minimal: *redundancy*.
4. Dapat mempresentasikan tingkah laku sistem dengan cara yang transparan.

Dari karakteristik pemodelan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa model itu dibuat dalam bentuk grafis atau bergambar sehingga dapat memudahkan pengguna dan dilengkapi juga dengan keterangan dari gambar atau grafis tersebut. Alur dari proses model tersebut dapat dilihat dan diamati, dan yang terpenting adalah dapat mempresentasikan proses dari pada sistem yang dibuat dan dapat dipahami oleh pengguna. Adapun prinsip dari pemodelan adalah:

1. Memilih model apa yang digunakan, bagaimana masalahnya dan bagaimana juga dengan solusinya.
2. Setiap Model dapat dinyatakan dalam tingkatan yang berbeda

3. Model yang terbaik adalah yang berhubungan dengan realitas.4. Tidak pernah ada model tunggal yang cukup baik, setiap sistem yang baik memiliki serangkaian model kecil yang independen. (Anonim, 2010).

Prinsip pemodelan tidak terlalu menitik beratkan kepada bentuk model, untuk merancang sebuah sistem bentuk model bebas, bisa menggunakan bentuk model sesuai dengan keinginan. Sebagai contoh berupa narasi, prototype, maupun gambar, yang terpenting adalah harus mampu mempresentasikan visualisasi bentuk sistem yang diinginkan oleh pengguna, karena sistem akhir yang dibuat oleh pengguna yang akan diturunkan dari hasil model tersebut. Pemodelan merupakan gambaran yang mendekati kondisi asli/alam dengan tujuan untuk keperluan analisa, prediksi dan perancangan. Secara umum pemodelan dapat dibagi menjadi tiga (3), yakni:

Model Fisik

Merupakan replika/tiruan dari domain/ruang/daerah dimana fenomena/peristiwa alam itu terjadi. Kecocokan dari model ini tergantung dari kesebangunan (geometris, kinematis dan dinamis) model dengan alam, misalnya model bendungan.

Model Analog

Dibuat berdasarkan analogi fenomena/peristiwa alam dengan fenomena/peristiwa alam yang lain untuk kemudian dibuat model fisiknya. Model ini sudah jarang digunakan seiring dengan perkembangan teknologi komputer.

Model Numerik

Dibangun berdasarkan formula matematis yang terkait dengan fenomena alam dan selanjutnya dilakukan penyelesaian terhadap formula tersebut. Pada model matematik tersebut fenomena/peristiwa alam dideskripsikan dengan satu set persamaan. Kecocokan model terhadap fenomena/peristiwa alamnya tergantung dari ketepatan

Hidrodinamika

Kata hidrodinamika pertama dikenalkan oleh *Daniel Bernoulli* pada tahun 1700-1783 untuk memperkenalkan dua macam ilmu hidrostatis dan hidraulik. Beliau pun mengeluarkan teori yang terkenal dengan nama teori *Bernoulli*. *Euler* pada tahun 1707-1783 menghasilkan persamaan gerak fluida ideal dan mengembangkan teori matematisnya dan dilanjutkan oleh *Langrange* pada tahun 1736-1813. *Navier* pada tahun 1785-1836 menyatakan penemuan tentang persamaan gerak untuk fluida berviskositas berdasarkan interaksi molekul. *Stokes* pada tahun 1819-1903 juga menemukan persamaan gerak untuk fluida berviskositas, beliau terkenal dengan penemuan teori modern hidrodinamika.

Hidrodinamika adalah ilmu yang mempelajari fluida yang mengalir. Fluida adalah zat yang mengalir, yang terdiri dari zat cair dan gas. Ada fluida yang tak mengalir dan ada fluida yang mengalir. Ilmu yang mempelajari fluida yang tak mengalir disebut hidrostatis dan ilmu yang mempelajari fluida yang mengalir disebut hidrodinamika.

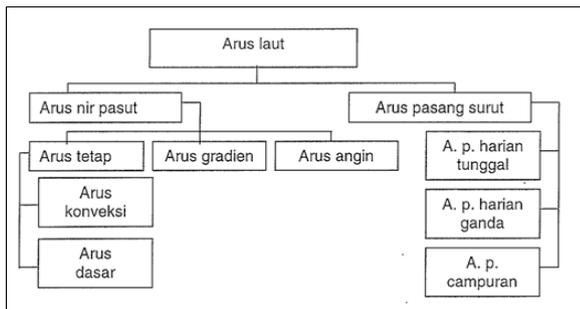
Kata Hidrodinamika mempunyai pengertian bahwa suatu ilmu yang mempelajari tentang fenomena yang terjadi pada fluida dimana fluida diasumsikan *incompressible* dan *inviscid* (*zero viscosity*). Analisa aliran fluida dapat menggambarkan bentuk dari aliran dimana sesuai perkiraan dari aliran sebenarnya pada daerah di luar lapisan batas (*boundary layer*). Pada umumnya fluida akan mengalami deformasi, elastis, plastis dan mengalir akibat adanya gaya. Fluida terbagi menjadi gas (*gases*) dan air (*liquid*), untuk gas (*gases*) pada umumnya diklasifikasikan pada fluida kompresibel (*compressible fluid*) dan air (*liquid*)

diklasifikasikan sebagai aliran yang tidak mengalami perubahan tekanan (*incompressible fluids*). Di dalam analisa hidrodinamika maka secara keseluruhan fluida dianggap *incompressible*. Dalam hal ini pengertian *liquid* dapat diartikan sebagai air meskipun sedikit mempunyai viskositas. Untuk mempermudah didalam perhitungan matematisnya maka digunakan pengertian ilmu mekanika dan mempermudah asumsi dengan menganggap bahwa fluida adalah *inviscid* atau fluida ideal.

Inviscid fluid adalah fluida tidak mengalami perubahan viskositas, viskositasnya kontinu dan gesekan antar partikelnya relatif kecil. Lebih jauh lagi, apabila fluida mengalir dalam suatu pipa maka tangential stress pada fluida sama dengan nol, sehingga tidak ada energi dan fluida dapat mengalir bebas tanpa adanya hambatan. Satuan yang sering digunakan didalam analisa hidrodinamika adalah panjang, massa, waktu, temperature, kecepatan, percepatan, gaya, tekanan dan energi. Dalam perhitungan matematisnya satuan tersebut dalam besaran dan arah, sebagai contoh dalam sistem dinamika maka suatu penurunan dapat diartikan mempunyai panjang, massa dan waktu, dan berubah unit satuannya dari foot, pound, detik ke mile, ton dan jam.

Arus Laut

Arus merupakan suatu pergerakan massa air dimana yang menyebabkan perpindahan secara vertical dan horizontal dan berlangsung secara kontinu (Gross, 1990). Arus dibagi dalam beberapa kelompok dan berdasarkan gaya-gaya yang ditimbulkan arus atau pergerakan massa air merupakan fenomena penting dalam oseanografi karena berkaitan dengan aliran atau sirkulasi air (Fahrudin, 1999).



Gambar 2. Pembagian Jenis Arus Berdasarkan Gaya Yang Ditimbulkan
Sumber: (Fahrudin, 1999)

Menurut gerakan massa air terjadi karena resultan dari berbagai macam gaya yang bekerja pada kolom massa air yang memiliki suatu percepatan dan dipengaruhi gaya gravitasi (Pond dan Pickard, 1983). Arus laut merupakan Bergeraknya massa air laut dan dapat terjadi akibat adanya pembangkit arus yang bekerja baik pada lapisan antar muka air udara ataupun pada badan air seperti angin, rotasi bumi, beda salinitas dan temperatur, dan gaya gravitasi bulan.

Oleh karena dibangkitkan angin, arah arus permukaan mengikuti arah angin yang ada. Khususnya di Asia Tenggara karena arah angin musim sangat terlihat perubahannya antara musim barat dan musim timur. Arus musim barat ditandai oleh adanya aliran air dari arah utara melalui laut Cina bagian atas, laut Jawa, dan laut Flores. Adapun musim timur sebaliknya mengalir dari arah selatan. Selain pergerakan arah arus mendatar, angin dapat menimbulkan arus air vertikal yang dikenal dengan upwelling dan downwelling di daerah-daerah tertentu. Proses upwelling adalah suatu proses massa air yang didorong ke atas dari kedalaman sekitar 100 sampai 200 meter. Oleh karena air yang dari kedalaman lapisan belum berhubungan dengan atmosfer, maka kandungan oksigennya rendah dan suhunya lebih dingin dibandingkan dengan suhu air permukaan lainnya.

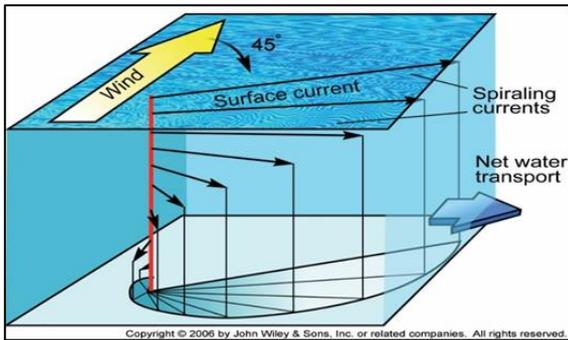
Kedalaman perairan dan bentuk garis pantai akan mempengaruhi arah dan kecepatan arus (Anonim, 2010). Arus permukaan merupakan gerakan mengalir suatu massa air yang dapat disebabkan oleh tiupan angin perbedaan dalam densitas laut maupun oleh gerakan bergelombang. Panjang misalnya pasang surut. Di laut terbuka, arah dan kekuatan arus dilapisan permukaan sangat banyak ditentukan oleh angin. Arah arus permukaan memiliki hubungan yang erat dengan angin (Nontji, 1993).

Sementara arus diluar daerah pantai disebabkan oleh gerakan pasut, arus kuat, arahnya sejajar pantai, bahayanya dapat mempengaruhi arah haluan sehingga dapat menyebabkan kapal, sekoci pendarat, dan kendaraan pendarat hanyut. Arus yang menyusur pantai antara lain disebabkan oleh adanya gelombang/ombak, kecepatan kurang lebih 1 knot, bahayanya dapat mempengaruhi olah gerak kapal, sekoci pendarat dan kendaraan pendarat.

Arus Ekman

Angin yang berhembus dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah akan menimbulkan gesekan dipermukaan air sehingga massa air dilapisan berikutnya akan mengalami pergerakan (gesekan) juga (Menurut Arus Ekman adalah arus yang terjadi pada lapisan permukaan air laut yang ditimbulkan oleh pergerakan angin, arah arus permukaan laut tidak searah dengan angin yang bergerak dipermukaan laut itu sendiri.

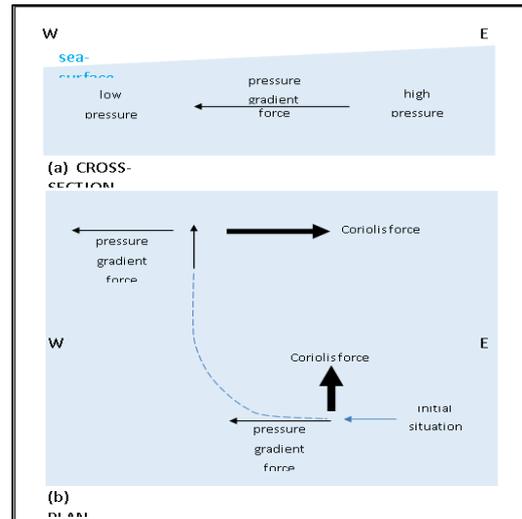
Pada umumnya permukaan air yang bersentuhan langsung dengan angin akan menimbulkan arus di lapisan permukaan dengan kecepatan arus 2% dari kecepatan angin yang bertiup (Hutabarat dan Evans, 1985).



Gambar 3. Arus Ekman
Sumber: <https://unmgeografi.wordpress.com/2011/04/07/arus-laut-di-dunia/>

Arus Gradien

Arus geostropik digambarkan sebagai arus gradien atau slope current yang terjadi karena adanya keseimbangan geostropik atau kemiringan bidang isobar dan bidang datar (level surface) yang disebabkan oleh adanya gradien tekanan mendatar/horizontal yang bekerja pada massa air yang bergerak, dan diseimbangkan oleh Gaya Coriolis. Kemiringan tersebut terjadi akibat adanya penumpukan massa air di tempat tertentu karena adanya hembusan angin yang berhembus terus menerus. Penumpukan massa air ini menyebabkan adanya perbedaan tekanan pada permukaan laut, meskipun tekanan tersebut kecil tapi karena sifat air yang selalu mencari keseimbangan, maka terjadilah pergerakan air secara mendatar. Selain itu, pengaruh angin dan perbedaan tekanan atmosfer di permukaan laut berperan dalam pembentukan slope muka laut (slope isobar) (Bowden, 1983).



Gambar 4. Arus Geostropik
(Sumber : <https://dokumen.tips/documents/ arus-geostropik.html>)

Lebih lanjut perairan yang densitasnya rendah dengan suhu yang lebih hangat memiliki permukaan laut yang lebih tinggi daripada perairan yang densitasnya tinggi dengan suhu yang dingin, akibatnya terdapat slope (kemiringan) permukaan laut antara daerah densitas (Bowden 1983). Karena adanya slope permukaan laut (juga adanya slope isobar di lapisan-lapisan dalam) tekanan air di daerah densitas rendah lebih besar dari pada tekanan air di daerah densitas tinggi. Perbedaan tekanan ini menggerakkan massa air di daerah tekanan tinggi ke daerah tekanan rendah. Tetapi air tidaklah benar-benar bergerak menuruni slope permukaan laut, akibat pengaruh rotasi bumi atau gaya coriolis gerakan air ini dibelokkan ke arah kanan di belahan bumi utara dan ke arah kiri di belahan bumi selatan. Akhirnya air bergerak sejajar dengan slope atau tegak lurus bidang.

Arus Tetap

Arus tetap merupakan arus yang terdapat di semua wilayah walaupun pada kawasan tersebut tidak terjadi hembusan angin ataupun pasut. Arus ini terdiri dari dua macam yakni arus konveksi dan arus dasar. Arus konveksi adalah arus yang timbul akibat perbedaan temperatur atau akibat perbedaan kadar garam dalam laut. Sedangkan arus dasar adalah arus yang dipengaruhi oleh topografi suatu perairan tersebut. (Gross,1990).

Arus Pasut

Arus pasut adalah pergerakan air secara horizontal yang disebabkan oleh pasang surut, namun antara arus pasut dengan pasut tidak selalu memiliki hubungan yang dapat dikaitkan satu dengan yang lainnya (Gross (1990). Dibeberapa pesisir perairan ada kawasan yang tidak memiliki arus pasut, dan yang lainnya memiliki arus pasut tetapi tidak ada pasut. Arus pasut terjadi pada daerah perairan yang umumnya semi tertutup. (Ali, dkk. 1994). Gerakan arus pasut dari laut lepas yang merambat ke perairan pantai akan mengalami perubahan, faktor yang mempengaruhinya antara lain adalah berkurangnya kedalaman (Mihardja, dkk. 1994).

Kombinasi gaya astronomi dengan topografi (geometri pantai dan kedalaman) perairan menimbulkan 3 pola arus pasut menurut (Safwan Hadi (2009) yakni :

Arus pasut dengan tipe Rotasi

Arus pasut dengan tipe rotasi terdapat di daerah lepas pantai (*open ocean*). Arus berotasi dalam satu periode pasut dalam arah putaran jarum jam di Belahan Bumi Utara (BBU) dan

berlawanan arah putaran jarum jam di Belahan Bumi Selatan (BBS).

Arus pasut dengan tipe Bolak balik

Arus pasut tipe bolak balik terdapat di daerah teluk atau estuari. Saat pasang (*flood tide*) arus bergerak masuk kedalam teluk/estuari dan saat surut (*ebb tide*).

Arus pasut dengan tipe Hidrolik

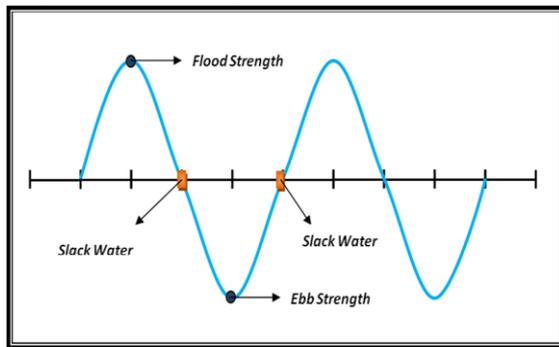
Arus pasut dengan tipe Hidrolik terdapat di suatu selat yang menghubungkan dua badan air yang dipengaruhi pasut secara saling bebas (*Independent*).

Arus pasut bervariasi dari suatu tempat ketempat lain, tergantung pada karakter pasut, kedalaman air dan konfigurasi pantai. Periode arus pasut mengikuti periode pasutnya. Kecepatan arus pasut minimum atau efektif nol terjadi saat pasang atau surut (*slack water*). Pada saat-saat tersebut terjadi perubahan arah arus pasut. Kecepatan arus pasut maksimum terjadi pada saat-saat antara pasang dan surut. Dengan demikian periode kecepatan arus pasut akan mengikuti periode pasut yang membangkitkannya.(Poerbandono dan Djunarsjah, 2005).

Arus Non-Pasut

Arus Non-pasut adalah arus laut yang terjadi bukan disebabkan karena pengaruh pasut, sehingga sifatnya tidak periodik. Arus non-pasut tidak merubah pola arus pasut. Pola arus berbentuk *ellips* dan arus bolak-balik masih tetap terlihat walaupun dipengaruhi oleh arus non-pasutnya. Tetapi arus non pasut merubah kecepatan arus pasut. Bila arus non pasut searah dengan arus pasutnya maka

kecepatan arus akan bertambah sesuai dengan kekuatan arus non pasutnya. Sebaliknya bila arus non pasut berlawanan dengan arus pasut maka kecepatan arus pasutnya berkurang sesuai dengan kekuatan arus non pasutnya. (Hadi dan Radjawane, 2009).



Gambar 5. Flood Strength dan Ebb Strength (Sumber : Hadi dan Radjawane 2009, dalam Darmanto 2015).

Gelombang Laut

Gelombang laut adalah bentuk permukaan laut yang berupa punggung atau puncak gelombang dan palung atau lembah gelombang oleh gerak ayun (oscillatory movement) akibat tiupan angin, erupsi gunung api, pelongsoran dasar laut, atau lalu lintas kapal (Sunarto, 2003). Gelombang laut memiliki dimensi yaitu periode gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, dan cepat rambat gelombang.

Type	Diagram	Example	Description
Spilling $\zeta_0 < 0.5$			-Wave crest becomes unstable and spills down while introducing air bubbles inside. -Characteristic foamy water. -High-steepness waves over mild slopes.
Plunging $0.5 < \zeta_0 < 2.5$			-Wave shoreward face becomes first vertical, curls over and finally plunges into the water ahead. -Air can be trapped inside the curl. -Medium steepness waves over intermediate slopes.
Collapsing $2.5 < \zeta_0 < 3.7$			-Wave crest becomes vertical, until the base collapses arriving to the shoreline as a thin water layer. -Low steepness waves over steep slopes.
Surging $\zeta_0 > 3.7$			-Wave crest remains unbroken, and the wave arrives to the shoreline with small shape changes. -Low steepness waves over very steep slopes.

Gambar 6: Variasi gelombang saat penjalaran. (Sumber: 6: Wave breaking types described in terms of the surf similarity parameter (Diagrams: Hedges (2003)).

Periode gelombang (T) adalah waktu tempuh di antara dua puncak atau dua lembah gelombang secara berurutan pada titik yang tetap (satuan detik). Panjang gelombang (L) adalah jarak horizontal antara dua puncak atau dua lembah yang berurutan (satuan meter). Tinggi gelombang (H) adalah jarak vertikal antara puncak gelombang dan lembah gelombang (satuan meter). Cepat rambat gelombang (C) adalah kecepatan tempuh perjalanan suatu gelombang, yang dapat diperoleh dengan pembagian panjang gelombang (L) dengan periode gelombang (T) atau $C=L/T$.

Holthuijsen (2007) menjelaskan bahwa gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. (Nichols et al., 2009 dalam Bagus, 2014) menjelaskan bahwa gelombang laut timbul karena adanya gaya pembangkit yang bekerja pada laut. Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, gaya pembangkit tersebut terutama berasal dari angin, dari gaya tarik menarik Bumi - Bulan - Matahari atau yang disebut dengan gelombang pasang surut dan gempa bumi.

Ketinggian dan periode gelombang tergantung kepada panjang fetch pembangkitnya. Fetch adalah jarak perjalanan tempuh gelombang dari awal pembangkitannya. Fetch ini dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Semakin panjang jarak fetchnya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar. Angin juga mempunyai pengaruh yang penting pada ketinggian gelombang.

Angin yang lebih kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar.

Gelombang yang menjalar dari laut dalam (deep sea) menuju ke pantai akan mengalami perubahan bentuk karena adanya perubahan kedalaman laut. Apabila gelombang bergerak mendekati pantai, pergerakan gelombang di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah akibat dari friksi/gesekan antara air dan dasar laut. Sementara itu, bagian atas gelombang di permukaan air akan terus melaju. Semakin gerak gelombang menuju ke pantai, puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar. Fenomena ini yang menyebabkan gelombang tersebut kemudian pecah.

Ada dua tipe gelombang, bila dipandang dari sisi sifat-sifatnya yaitu gelombang pembangun/pembentuk pantai (constructive wave) dan gelombang yang tidak membentuk pantai (deconstructive wave). Yang termasuk gelombang pembentuk pantai, bercirikan mempunyai ketinggian kecil dan cepat rambatnya rendah. Saat gelombang pecah di pantai, material yang terangkut akan tertinggal di pantai (deposit) yaitu ketika aliran balik dari gelombang pecah meresap kedalam pasir atau pelan-pelan sedimen akan mengalir kembali ke laut. Gelombang yang sifatnya tidak membentuk pantai biasanya mempunyai ketinggian dan kecepatan rambat yang besar (sangat tinggi). Air yang kembali berputar mempunyai lebih sedikit waktu untuk meresap ke dalam pasir. Ketika gelombang datang kembali menghantam pantai akan ada banyak volume air yang terkumpul dan mengangkut material pantai menuju ke tengah laut atau ke tempat lain.

Dalam usaha menjelaskan proses tumbuhnya gelombang di laut, banyak teori dikemukakan para ahli, tetapi hanya ada dua teori yang saling melengkapi dan dapat menjelaskan pertumbuhan gelombang di lautan antara lain :

1. Turbulensi dalam angin menyebabkan fluktuasi acak permukaan laut yang menghasilkan gelombang-gelombang kecil-kecil (riak) dengan panjang gelombang beberapa sentimeter. Gelombang-gelombang kecil-kecil ini kemudian tumbuh secara linear melalui proses resonansi dengan fluktuasi tekanan turbulensi. (Phillips (1957)

2. Teori ketidakstabilan atau mekanisme arus balik (feed-back Mechanisme), menyatakan bahwa: Ketika ukuran gelombang-gelombang kecil yang sedang tumbuh mulai mengganggu aliran udara di atasnya, angin yang bertiup memberikan tekanan yang semakin kuat seiring dengan meningkatnya ukuran gelombang, sehingga gelombang tumbuh menjadi besar. Proses pemindahan energi ini berlangsung secara tak stabil, semakin besar ukuran gelombang semakin cepat gelombangnya. Ketidakstabilan menyebabkan gelombang tumbuh secara eksponensial.

MIKE 21

Berdasarkan manual book MIKE 21, MIKE 21 adalah suatu perangkat lunak rekayasa profesional yang berisi sistem pemodelan yang komprehensif untuk program komputer untuk 2D free-surface flows. MIKE 21 dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena terkait di sungai, danau, estuari, teluk, pantai dan laut. Program ini dikembangkan oleh DHI Water and Environment. MIKE 21 terdiri

dari beberapa modul, diantaranya adalah *MIKE 21 hydrodynamic (HD) module*.

MIKE 21 hydrodynamic (HD) module adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. *Hydrodynamic module* mensimulasi perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, estuari, teluk dan pantai. Efek dan fasilitasi yang termasuk di dalamnya yaitu:

- *Bottom shear stress* (tekanan geser dasar)
- *Wind shear stress* (tekanan geser angin)
- *Barometric pressure gradients* (gradien tekanan udara)
- *Coriolis force* (gaya Coriolis)
- *Momentum dispersion* (dispersi momentum)
- *Sources and sinks* (sumber dan tenggelam)
- *Evaporation* (penguapan)
- *Flooding and drying* (banjir dan pengeringan)
- *Wave radiation stresses* (tekanan radiasi gelombang)

Beberapa aplikasi perangkat lunak MIKE 21 yaitu; pemodelan arus, pemodelan gelombang, sedimentasi, pelabuhan, energi laut, pencemaran, ekologi dan lain-lain. Model hidrodinamika dalam MIKE 21 HD adalah sistem model numerik umum untuk muka air dan aliran di estuary, teluk dan pantai. Persamaan berikut, konservasi massa dan momentum, menggambarkan aliran dan perbedaan muka air.

Perangkat Lunak ArcGIS 10.4.1

Sistem Informasi Geografis (Geographic Information System/GIS) atau disebut SIG merupakan sistem informasi berbasis komputer yang digunakan untuk mengolah dan menyimpan data atau informasi geografis (Aronoff, 1989). Secara umum pengertian suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumber daya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukkan, menyimpan, memperbaharui, memanipulasi, memperbaiki, mengelola, menganalisa, mengintegrasikan, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis.

SIG mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkannya, menganalisa dan akhirnya memetakan hasilnya. Data yang akan diolah pada SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya sehingga aplikasi SIG dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti lokasi, kondisi, trend, pola dan pemodelan, kemampuan inilah yang membedakan SIG dari sistem informasi lainnya (Anonim, 2007).

ArcGIS adalah salah satu software yang dikembangkan oleh ESRI (Environment Science & Research Institute) yang merupakan kompilasi fungsi-fungsi dari berbagai macam software GIS yang berbeda seperti GIS desktop, server, dan GIS berbasis web. Software ini mulai dirilis oleh ESRI Pada tahun 2000. Produk utama dari ArcGIS adalah ArcGIS desktop, dimana ArcGIS Desktop merupakan software GIS professional yang

komprehensif dan dikelompokkan atas tiga komponen yaitu : ArcView (komponen yang fokus ke penggunaan data yang komprehensif, pemetaan dan analisis), ArcEditor (lebih fokus ke arah editing data spasial) dan ArcInfo lebih lengkap dalam menyajikan fungsi-fungsi GIS termasuk untuk keperluan analisis geoprocesing (Sabrina Siregar, 2010).

Software ArcGIS pertama kali diperkenalkan kepada publik oleh ESRI pada tahun 1999, yaitu dengan kode versi 8.0 (ArcGIS 8.0). ArcGIS merupakan penggabungan, modifikasi dan peningkatan dari 2 software ESRI yang sudah terkenal sebelumnya yaitu ArcView GIS 3.3 (ArcView 3.3) dan Arc/INFO Workstation 7.2 (terutama untuk tampilannya). Bagi yang sudah terbiasa dengan kedua software tersebut, maka sedikit lebih mudah untuk bermigrasi ke ArcGIS. Setelah itu berkembang dan ditingkatkan terus kemampuan dari ArcGIS ini oleh ESRI yaitu berturut turut ArcGIS 8.1, 8.2, 9.0, 9.1, 9.2, dan terakhir saat ini ArcGIS 9.3 (9.3.1) dan sekarang sudah ada ArcGIS 10 (Eddy Prahasta, 2010).

Sejak akhir tahun 1990-an, aplikasi perangkat lunak SIG telah berkembang pesat dengan hadirnya produk-produk baru yang berorientasi jauh kedepan. Salah satu produk yang paling menonjol dan populer sejak pertengahan tahun 2000-an adalah ArcGIS beserta Geodatabase-nya. ArcGIS mampu menyediakan kerangka kerja yang bersifat scalable untuk mengimplementasikan aplikasi SIG.

ArcGIS merupakan perangkat lunak yang bersifat komersil dan banyak digunakan oleh praktisi yang bekerja pada bidang pengelolaan data spasial. Environmental System Research Institute

(ESRI) sebagai pengembang mempunyai tujuan membangun aplikasi SIG yang lengkap sesuai dengan pertumbuhan pengetahuan dan teknologi pendukung dan peningkatan kebutuhan-kebutuhan komunitasnya. ArcGIS terdiri dari framework yang selalu dikembangkan untuk mempermudah pembuatan aplikasi SIG yang sesuai dengan penggunaan serta kebutuhannya. Adapun framework ArcGIS tersebut diantaranya adalah ArcGIS Desktop, ArcGIS Engine, Mobile GIS, dan ArcGIS Server (Prahasta,2015:7).

Metode Validasi Pemodelan

Pada penelitian ini menggunakan metode simulasi pemodelan, tahapan validasi merupakan suatu hal yang wajib dilaksanakan. Proses ini bisa dikatakan sebagai langkah awal untuk menguji apakah model yang sudah dibuat bisa mempresentasikan sistem nyata yang benar atau tidak. Validasi merupakan suatu pengujian apakah konsep model simulasi bisa mempresentasikan secara akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan. (Law & Kelton, 1991). Suatu model bisa dikatakan valid jika tidak mempunyai perbedaan yang signifikan dengan sistem nyata.

Validasi untuk mengetahui seberapa besar nilai kebenaran dari hasil perhitungan pada pemodelan yang dibandingkan dengan data pengamatan dilapangan. Hubungan antara data hasil pemodelan dan data pengamatan dilapangan akan dihitung menggunakan metode analisis korelasi Pearson Product Moment (PPM) dan rumus Root Mean Square Error (RMSE).

Penjabaran dari rumus PPM ditulis sebagai berikut :

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n\sum x^2 - (\sum x)^2}(n\sum y^2 - (\sum y)^2)} \quad \text{(Persamaan 2.1)}$$

Keterangan :

- N = Banyaknya pasangan data X dan Y
- $\sum x$ = Total jumlah dari variabel X
- $\sum y$ = Total jumlah dari variabel Y
- $\sum x^2$ = Kuadrat dari total jumlah variabel X
- $\sum y^2$ = Kuadrat dari total jumlah variabel Y
- $\sum xy$ = Hasil perkalian dari total jumlah variabel X dan Y

Korelasi Pearson merupakan salah satu ukuran korelasi yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier dari dua variabel, dalam hal ini data yang diuji adalah data pasang surut. Koefisien korelasi biasa dilambangkan dengan huruf r dimana nilai r dapat bervariasi dari -1 sampai +1. Nilai r yang mendekati -1 atau +1 menunjukkan hubungan yang kuat antara dua variabel tersebut dan nilai r yang mendekati 0 mengindikasikan lemahnya hubungan antara dua variabel tersebut. Sedangkan tanda + (positif) dan - (negatif) memberikan informasi mengenai arah hubungan antara dua variabel tersebut. Jika bernilai + (positif) maka kedua variabel tersebut memiliki hubungan yang searah dan seballknya.

Selanjutnya metode yang paling tepat untuk mengestimasi besarnya kesalahan pengukuran/perhitungan ialah didasarkan pada nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* yang dihasilkan. RMSE

digunakan untuk membandingkan nilai dari hasil pemodelan dan pengamatan dilapangan. RMSE dapat ditentukan dengan persamaan berikut ...

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad \text{(Persamaan 2.2)}$$

Keakuratan metode estimasi kesalahan pengukuran diindikasikan dengan nilai RMSE yang kecil. (Widayati, 2009). Dengan adanya nilai RMSE yang kecil maka dapat dikatakan model tersebut mendekati fenomena atau kenyataan yang terjadi di lapangan. Berdasarkan pada konvensi, ada kecocokan model yang baik jika nilai RMSE adalah lebih kecil atau sama dengan 0,05. (Hu & Bentder, 1998).

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan metode kualitatif, kuantitatif, studi pustaka untuk mengumpulkan data dan literatur, ada juga penggunaan data sekunder dari Disosemet

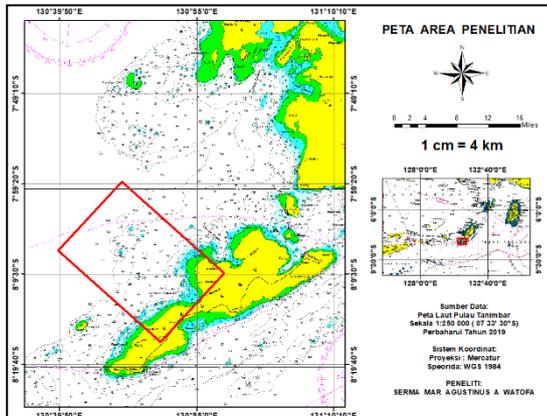
(Pasut, Arus, Gelombang, Angin) dan Dishidro (.xyz) Dispeta (PLI No. 382 Kep. Tanimbar Tahun 2018). Data primer dari digitasi PLI No 382 Kep. Tanimbar terkhusus Pulau Selaru untuk mendapatkan data Garpan dan Batimetri.

Tempat Penelitian

Penelitian yang dilaksanakan dalam penyelesaian tugas akhir ini dilakukan dengan melakukan kerja praktek (magang) di Disosemet Pushidros TNI AL dan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Kelautan Perikanan di Jakarta.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dilaksanakan pada daerah Labuhan Lemian Pulau Selaru Kabupaten Maluku Tenggara Barat.



Gambar 8. Peta Area Penelitian
Sumber : Analisa penulis dari PLI No 382 Kep. Tanimbar

Area Penelitian

Area simulasi yang lebih detail berada disekitaran Perairan Labuhan Lemian Pulau Selaru Kabupaten Maluku Tenggara Barat dengan kisaran koordinat:

- A. Lat/Lon: 8°17'5.72"S - 130°49'51.344"E
- B. Lat/Lon: 8°11'39.821"S - 130°55'0.884"E
- C. Lat/Lon: 8°3'41.345"S - 130°46'31.071"E
- D. Lat/Lon: 8°9'10.225"S - 130°41'24.264"E

Sumber Data

Sumber data penelitian yang digunakan adalah berupa data sekunder berupa data arus laut, data pasang surut dan data gelombang serta data angin dimana bersumber dari Disosemet Pushidros TNI AL serta fasilitas *Software Mike 21*. Data garis pantai dan kedalaman yang diperoleh dari hasil digitasi Peta Laut Pushidrosal Nomor 382 Tahun 2018 Kepulauan Tanimbar Maluku Tenggara Barat menggunakan *Software ArcGIS 10.4.1*. Sedangkan data sekunder lain berupa data angin dan data gelombang diperoleh dari situs online ECMWF

(*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) atau *Copernicus*. Data yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

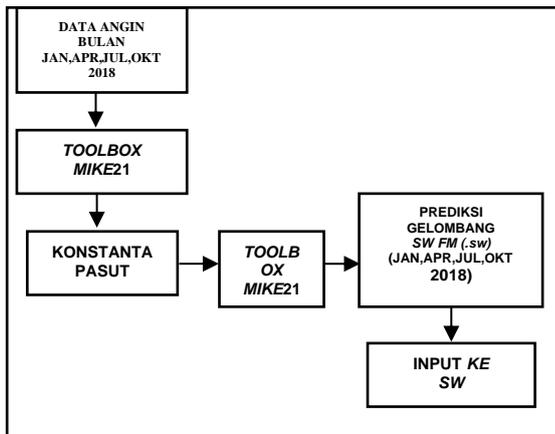
Data Batimetri dan Garis Pantai

Data batimetri menggunakan format XYZ, yakni XY adalah posisi dan Z adalah kedalaman, sedangkan untuk data garis pantai menggunakan format XY dimana sebagai posisi yang selanjutnya disesuaikan dengan format yang dipakai *Software MIKE 21*. Data batimetri dan garis pantai diperoleh dari hasil digitasi peta laut Indonesia bersumber dari Dispeta Pushidros TNI AL dengan peta nomor 382 edisi 2018 Kepulauan Tanimbar (Labuhan Lemian Pulau Selaru Kabupaten Maluku Tenggara Barat) dan data hasil survey Labuhan Lemian Pulau Selaru Kabupaten Maluku Tenggara Barat.

Data Angin

Data Angin diperoleh dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) atau *Copernicus* secara *online* dalam format *nc file* lalu diekstrak kedalam *software ODV (Ocean Data View)* dan *outputnya* menjadi data *Excel* yang berupa kecepatan (m/s), arah (derajat) dan waktu dengan periode 1 bulan dengan *running 24 jam* yaitu dengan empat musim yang berbeda yakni bulan Januari, April, Juli dan Oktober 2018 dimana musim timur, musim peralihan 1, musim barat dan musim peralihan 2, dengan *interval* setiap satu jam.

Diagram 1. Input Data Pasut ke Mike 21



Data Pasang Surut

Data Pasang Surut yang digunakan berupa waktu, lokasi dan tinggi muka air yang diperoleh dari data prediksi pasang surut global yang tersedia di *Mike 21 toolbox (.21t)* dengan periode waktu selama 1 bulan dengan *running* 24 jam yaitu dengan empat musim yang berbeda yakni bulan januari, april, juli dan oktober 2018 dimana musim timur, musim peralihan 1, musim barat dan musim peralihan 2, dengan interval setiap satu jam.

Perangkat Penelitian

Dalam mendukung pengolahan data diperlukan beberapa perangkat untuk mempermudah dalam prosesnya. Adapun perangkat penelitian yang digunakan dalam kerja praktek sebagai berikut:

Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan yaitu satu unit laptop dengan spesifikasi: Laptop *Dell Latitude E6430*, *Windows 10*, Ram 10 GB, *Core i5*, dengan *Hardisk* 500 GB.

Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian ini adalah diantaranya:

Mike 21

Perangkat lunak ini merupakan salah satu alat utama yang digunakan dalam proses pemodelan pasang surut dan arus dari pembuatan data *Mike 21 Student Trial Version* sampai model serta gambar pola pasang surut dan arus.

ArcGIS 10.4.1

Perangkat ini digunakan untuk registrasi peta dan menampilkan atribut pada gambar pola pasang surut, arus, angin dan gelombang yang divisualkan dalam bentuk layout peta.

Ocean Data View 4.10 (ODV)

Perangkat ini digunakan untuk mengekstraksi data angin dan menampilkan atribut berupa titik pada gambar pola angin dan yang divisualkan secara interaktif stasiun data untuk cakupan wilayah yang luas dalam layout peta.

Microsoft Office Excel 2016

Perangkat lunak ini berfungsi untuk mengkonversi data batimetri (XYZ), data garpan (XY), data angin, dan data pasang surut ke Notepad.

Notepad

Perangkat lunak ini berfungsi untuk menyiapkan data dalam bentuk (*Notepad.xyz*) yang diperlukan oleh perangkat lunak *Mike 21*.

Tahapan Pengoperasian

Tahapan pengoperasian penelitian ini yang meliputi kegiatan maupun proses yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penulisan,

maka tahapan pelaksanaan diantaranya sebagai berikut:

Persiapan Data Awal

Data utama untuk pemodelan pola arus pasang surut laut adalah data garis pantai dan data kedalaman perairan di lokasi penelitian. Data tersebut diperoleh dari Pushidros TNI AL yaitu peta laut nomor 382 edisi 2018 Kepulauan Tanimbar (Labuhan Lemian Pulau Selaru Kabupaten Maluku Tenggara Barat) dengan cara digitasi garis pantai dan kedalaman perairan sepanjang domain model menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* 10.4.1 serta data batimetri hasil survei Labuhan Lemian Perairan Pulau Selaru Maluku Tenggara Barat oleh tim survei Pushidros TNI AL Tahun 2019.

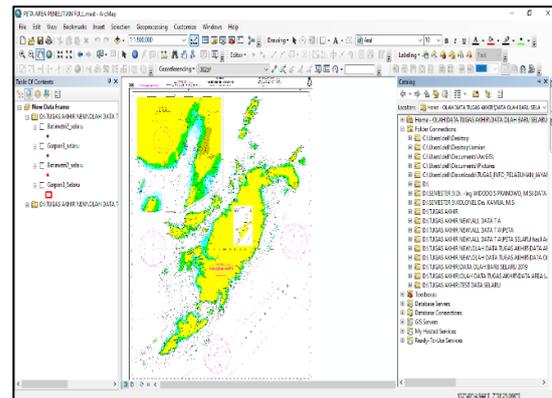
Keluaran dari proses diatas adalah data posisi garis pantai serta data posisi kedalaman serta nilai kedalaman perairan. Posisi dinyatakan dalam satuan *decimal degree*, sedangkan kedalaman dinyatakan dalam satuan meter. Setiap format data dilengkapi dengan angka-angka format data. Untuk daratan/garis pantai diberi penanda angka 1 sebagai *connectivity* dan angka 10 sebagai penanda ketinggian daratan. Untuk kedalaman perairan diberi penanda angka 3 sebagai *connectivity* data kedalaman.

Penelitian ini menggunakan data prediksi pasang surut yang tersedia di *MIKE 21 Toolbox* dan *NAO Tide*, verifikasi menggunakan data pasang surut hasil pengamatan tim survei Pushidros TNI AL di lokasi penelitian.

Registrasi Peta

Registrasi Peta dilakukan untuk peta yang berformat masih *JPEG Image* maupun peta yang sudah *tiff*, agar peta

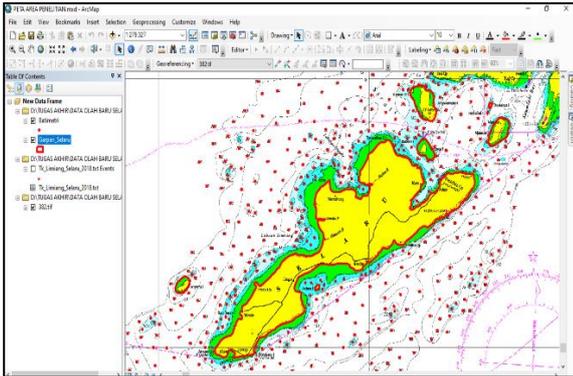
memiliki posisi yang tereferensi dan saat melakukan digitasi sesuai dengan posisi yang diinginkan. Dalam penelitian ini register peta menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* 10.4.1. Proses urutan secara singkat meregistrasi peta menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* 10.4.1 sebagai berikut:



Gambar 9. Registrasi PLI No. 382 Kep. Tanimbar Dengan Perangkat Lunak *ArcGIS* 10.4.1

Digitasi Garis Pantai

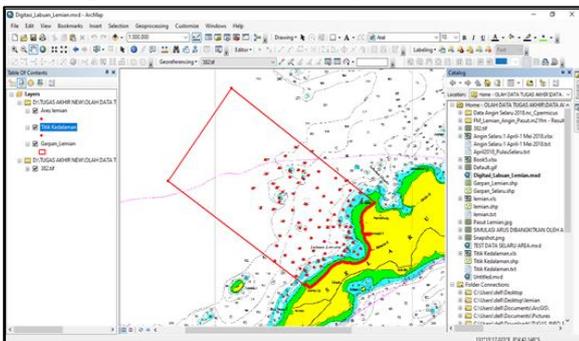
Digitasi menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* 10.4.1, dilanjutkan menggunakan perangkat lunak *Notepad* dan *Microsoft Excel* 2016. Kemudian hasilnya berbentuk format *Notepad xyz* sebagai data garis pantai *Mike 21*. Proses input data garis pantai dari perangkat lunak *Microsoft Excel* 2016 menggunakan perangkat lunak *Notepad* (disimpan dalam bentuk *Notepad.xyz*, data siap digunakan di perangkat lunak *Mike 21*). Setelah area kerja ditentukan selanjutnya dilakukan input data garis pantai kedalam area kerja. Tahapannya adalah klik *Work Area* kemudian pilih *Data*, selanjutnya klik *Import Boundary*, pilih file garis pantai yang telah dipersiapkan dalam format **.xyz*. Sehingga akan muncul tampilan yang berupa garis yang dianggap sebagai garis pantai (daratan).



Gambar 10. Hasil Digitasi Garis Pantai Dan Batimetri dengan ArcGIS 10.4.1

Digitasi Kedalaman

Proses digitasi kedalaman peta menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.4.1 dan dilanjutkan proses data menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2016 dan Notepad. Rangkaian proses tersebut menghasilkan data yang dapat digunakan sebagai data Mike 21, proses data kedalaman dari perangkat lunak Microsoft Excel 2016 menggunakan perangkat lunak Notepad (disimpan dalam bentuk Notepad.xyz, ata siap digunakan di perangkat lunak Mike 21).



Gambar 11. Data Hasil Digitasi

	A	B	C	D	E
1	1	130.69732858300	-8.26540420641	1	1
2	2	130.69352144600	-8.26302474499	1	2
3	3	130.69316452700	-8.25778993120	1	3
4	4	130.69542501500	-8.25314998219	1	4
5	5	130.69947009800	-8.24934284459	1	5
6	6	130.70491906400	-8.24574985786	1	6
7	7	130.70882138100	-8.24451253808	1	7
8	8	130.71405619500	-8.24698717770	1	8
9	9	130.71576940600	-8.25203163514	1	9
10	10	130.71521975100	-8.25489888591	1	10
11	11	130.71105569400	-8.25941986212	1	11
12	12	130.70860485000	-8.26291084854	1	12

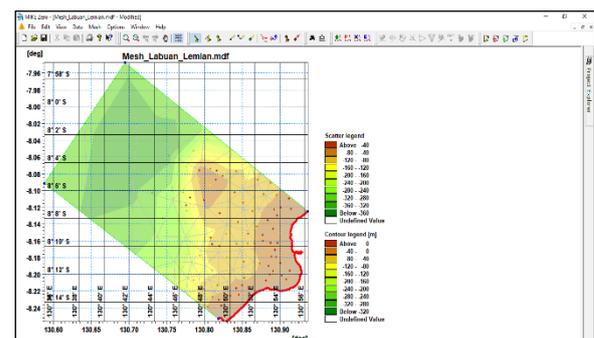
Gambar 12. Data Hasil Digitasi Garis Pantai

Bln/Tgl/Thn/jam	latitude	longitude	u10	v10	α	Kuadran	π	Arah	Kecepatan	Keterangan
4/1/2018 0:00	-7.95	130.6	3.686	4.194	0.84978	K1	0.720224	41.287	21.275636	TIMUR LAUT
4/1/2018 1:00	-7.95	130.60	3.248	5.024	0.99689	K1	0.573112	32.854	28.488576	TIMUR LAUT
4/1/2018 2:00	-7.95	130.60	3.113	4.979	1.01203	K1	0.557965	31.985	27.903441	TIMUR LAUT
4/1/2018 3:00	-7.95	130.60	3.297	4.475	0.93582	K1	0.634177	36.354	23.322625	TIMUR LAUT
4/1/2018 4:00	-7.95	130.60	3.525	3.705	0.81029	K1	0.759711	43.550	17.252025	TIMUR LAUT
4/1/2018 5:00	-7.95	130.60	3.729	3.778	0.79193	K1	0.778075	44.603	18.002284	TIMUR LAUT
4/1/2018 6:00	-7.95	130.60	3.635	3.892	0.81953	K1	0.750471	43.021	18.782664	TIMUR LAUT
4/1/2018 7:00	-7.95	130.60	3.484	4.25	0.88412	K1	0.685881	39.318	21.5465	TIMUR LAUT
4/1/2018 8:00	-7.95	130.60	3.514	4.912	0.94982	K1	0.620185	35.552	27.641744	TIMUR LAUT
4/1/2018 9:00	-7.95	130.60	3.171	5.256	1.02795	K1	0.542054	31.073	30.796536	TIMUR LAUT
4/1/2018 10:00	-7.95	130.60	3.272	4.419	0.93344	K1	0.636558	36.491	22.799551	TIMUR LAUT

Gambar 13. Data Angin Bulan April 2018

Membuat File Mesh (Grid)

1. Membuat Area Kerja
2. Pemanggilan Data
3. Membuat Batasan Mesh (Grid)
4. Interpolasi data Garis Pantai dan Batimetri menjadi Mesh Generator



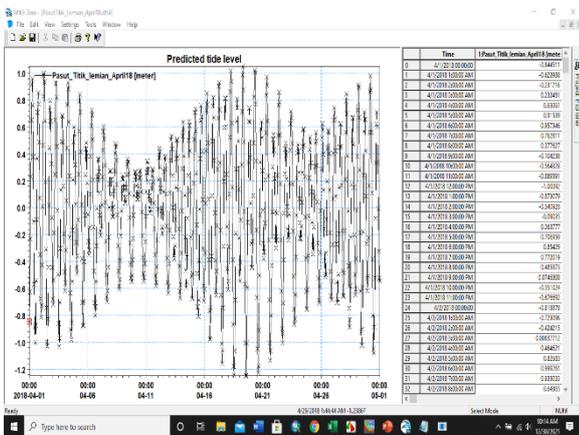
Gambar 14. Hasil Akhir Mesh Generator Labuhan Lemian

	A	B	C	D	E
1	130.80413102300	-8.23921045903	43	*-1-->	-43
2	130.82237330300	-8.23755206989	28		-28
3	130.81920728800	-8.23046622537	2		-2
4	130.81046305400	-8.22730020973	49		-49
5	130.76779722400	-8.21554072308	145		-145
6	130.78573798000	-8.20694725207	89		-89
7	130.79900509300	-8.21780216282	62		-62
8	130.81709661100	-8.21343004599	66		-66
9	130.82629313200	-8.21840521342	47		-47
10	130.83398202700	-8.22549105794	17		-17
11	130.84559075100	-8.22428495674	15		-15
12	130.84182168500	-8.21629453633	3		-3

Gambar 15. Data Batimetri Hasil Digitasi

Membuat File Prediksi Pasang Surut

Untuk membuat file prediksi pasang surut yang harus dipersiapkan terlebih dahulu informasi terkait lokasi atau domain area yang akan dimodelkan. Informasi tersebut meliputi area batas terbuka pada titik dibatas terbuka tersebut digunakan elevasi pasang surut prediksi *MIKE21 Toolbox*.



Gambar 16. Tampilan Hasil Prediksi Pasut

Pengaturan Simulasi Pemodelan

Setelah membuat *Mesh generator*, Prediksi Pasang Surut dan data Time Series pasang surut maka selanjutnya yaitu membuat *Set Up Model*. Tahapan ini merupakan tahapan yang menggunakan *MIKE21 Document Flow Model FM* dengan 4 modul namun yang akan digunakan hanya 3 modul yaitu Modul

Domain, *Time* dan Modul *hydrodynamic*. Ketiga modul tersebut yang harus diisi sesuai dengan data yang ada. Pada penelitian ini modul-modul tersebut. Dengan Set Up Model digunakan untuk membuat data prediksi 4 musim mulai Bulan Januari, April, Juli, dan Oktober 2018.

Diagram 2. Diagram Alir Penelitian

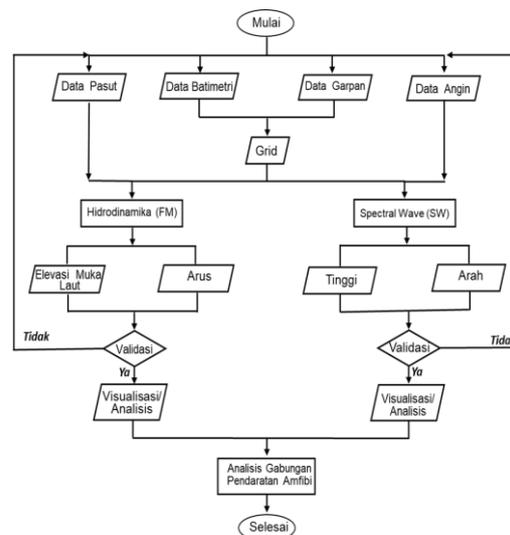


Diagram 3. Input Data Angin

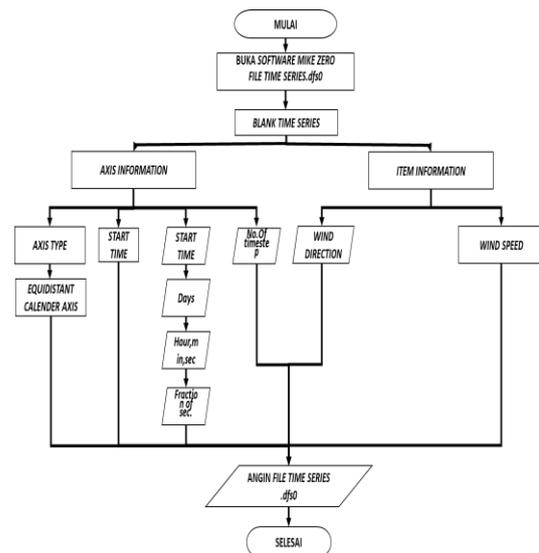
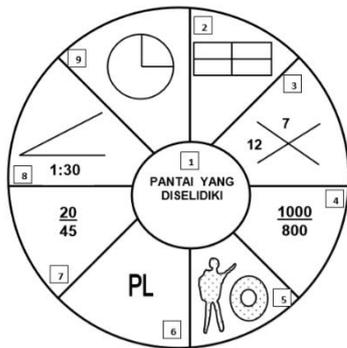
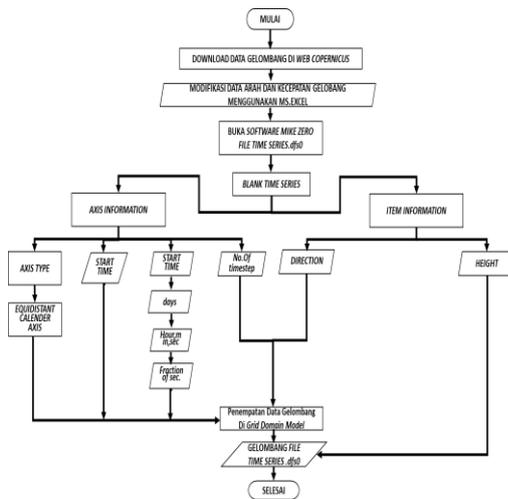
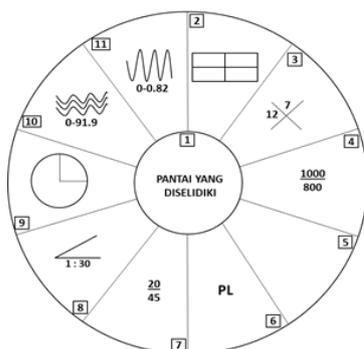


Diagram 4. Input Data Gelombang (SW)



Gambar .17 Mawar Pantai Sebelum Penambahan Variabel Arus Dan Gelombang (Sumber : Vademecum Taifib Marinir , 2017)



Gambar 18. Mawar Pantai Setelah Penambahan Variabel Arus Dan Gelombang

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengolahan Data

Menampilkan hasil pendaratan yang dilakukan oleh Kopaska dan Taifib melalui Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan memerlukan beberapa masukan berupa data spasial. Data spasial ini diperoleh melalui proses digitasi, yaitu konversi data analog ke format digital dan juga proses *upload* data di *website*. Metode pemindaian yang digunakan dalam penelitian ini adalah digitasi layar monitor.

Data-data yang telah digitasi dengan *ArcGIS* setelah melalui beberapa proses untuk dapat digunakan di *software Mike 21*, kemudian di ekspor ke *Mike 21* yang menghasilkan data berupa data pasang surut (Pasut) atau elevasi muka laut dan data angin (*Time Series*) serta gelombang (*Spectral Wave*). Hasil dari pemodelan dengan *Mike 21* juga berupa data posisi garis pantai, posisi kedalaman laut, dan nilai dari kedalaman. Posisi dari hasil model *Mike 21* berupa *decimal degree* sedangkan untuk posisi kedalaman dinyatakan dalam meter (m), dalam setiap data dari hasil model akan dilengkapi dengan angka-angka format data.

Pada saat melaksanakan digitasi garis pantai (garpan) dan posisi kedalaman laut (batimetri) dengan *ArcGIS 10.4.1* sumber data PLI No. 382 edisi 2018 daerah Kepulauan Tanimbar dari Dispeta Pushidrosal, menghasilkan data garis pantai dan kedalaman laut sesuai dengan arean kajian untuk pelaksanaan pendaratan. Daerah yang dituju adalah Pantai Labuhan Lemian Pulau Selaru MTB, hasil dari digitasi mendapatkan grid posisi untuk garpan (xy) dan kedalaman (.xyz) untuk nilai kedalaman awalnya tidak

muncul harus edit manual kemudian hasil dari angka kedalaman dikalikan minus satu (-1) untuk mendapatkan angka kedalaman minus (-). Untuk garis pantai (garpan) atau daratan akan diberikan nilai *connectivity* 1 dan untuk ketinggian angka 10 serta untuk kedalaman diberi penanda angka 3 sebagai *connectivity* data kedalaman.

Untuk proses pengolahan data hasil digitasi dari ArcGIS kemudian akan diolah menggunakan *software Mike 21* dan hasilnya dibahas pada pembahasan selanjutnya.

Validasi Data Hasil Model

Pada proses validasi data pasang surut (pasut), data angin dan data gelombang (SW) dimana hasil validasi akan menggunakan data dari model dan data dari lapangan hasil survei dari tim survei Pushidrosal pada bulan April – Mei 2018 di daerah Labuhan Lemian Pulau Selaru Maluku Tenggara Barat. Untuk pemasangan alat pengamatan pasang surut menggunakan alat *Tide Master Valeport* 106 dengan sistem tekanan (*pressure*) pemasangan alat tersebut di dermaga Namtabung MTB dengan koordinat Lintang : 08° 02' 58,1" S - Bujur : 131° 12' 45,7" T yang diamati selama 29 piamtan. Untuk data angin menggunakan alat *AWS Davis* sedangkan data arus laut menggunakan alat *Current Meter Valeport* 106 dan gelombang menggunakan alat *RBR Duo* dipasang/ instalasi di area pendaratan yakni Labuan Lemian Pulau selaru MTB selama satu bulan.

Kemudian data dari hasil model akan divalidasi dengan data lapangan untuk mengetahui atau mencari nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) hal ini dilakukan

untuk membandingkan nilai dari hasil pengamatan dilapangan dengan hasil dari pemodelan. Selain data RMSE akan di hitung juga nilai korelasi antara data lapangna dan data model hal ini dimaksudkan untuk mencari atau menjelaskan hubungan antara kedua data tersebut apakah semakin jauh jaraknya atau mendekati (berhimpit) dapat dilihat pada grafik dan nilai hasil perhitungan.

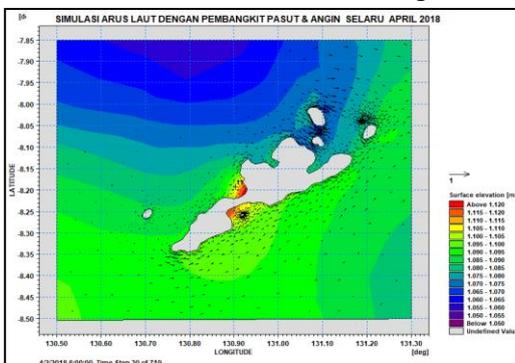
Untuk data hasil model dengan Mike 21 di lokasi penelitian yakni Labuhan Lemian Pulau Selaru Maluku Tenggara Barat, data hasil model hidrodinamika untuk pasang surut menggunakan koordinat yang sama dalam mengekstrak data dari *Flow Model* di *Mike 21* kemudian dibandingkan dengan data dari aplikasi NAO Tide untuk mendapatkan hasil data pasang surut sesuai dengan koordinat tempat alat pengamatan pasang surut dipasang. Hasil data *Flow Model*.

Grafik validasi untuk data lapangan hasil pengamatan oleh tim survei berupa data pasang surut, arus, gelombang dan angin di hitung per jam validasi dengan menggunakan data model maupun aplikasi NAO Tide untuk memvalidasi nilai pasang surut. Hasil validasi yang dilakukan dengan menghitung nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) serta nilai korelasi atau menjelaskan hubungan antara kedua data tersebut. Untuk nilai RMSE maksimum adalah 0,4 (40 %) sedangkan nilai minimum 0 (Nol), saat memvalidasi kedua nilai data apabila nilai semakin mendekati nol maka data tersebut baik dan nilai error semakin kecil.

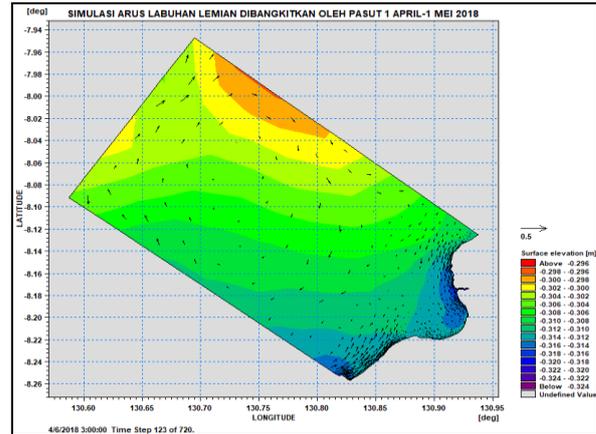
Root Mean Squared Error (RMSE) merupakan salah satu cara untuk mengevaluasi model regresi linear dengan mengukur tingkat akurasi hasil perkiraan

suatu model. RMSE dihitung dengan mengkuadratkan error (prediksi – observasi) dibagi dengan jumlah data (= rata-rata), lalu diakarkan. RMSE tidak memiliki satuan. RMSE merupakan salah satu cara mengevaluasi model selain *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Mean Absolute Deviation* (MAD). Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai obeservasinya. RMSE menghitung seberapa berbedanya seperangkat nilai. Semakin kecil nilai RMSE, semakin dekat nilai yang diprediksi dan diamati.

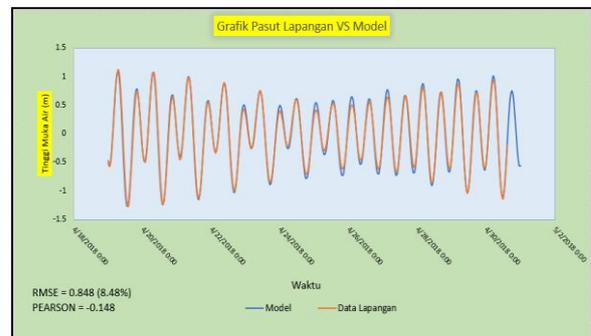
Untuk validasi RMSE dan Korelasi untuk data lapangan dan data model di lakukan pada tanggal 19 April 2018 jam 00:00 WIT sampai dengan 17 Mei 2018 jam 00:00 WIT (GMT+9). Hasil dari validasi data yang dilakukan menghasilkan nilai RMSE dan korelasi dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Sedangkan untuk nilai RMSE dan Korelasi Arus dan Gelombang Bulan April 2018, hasil perhitungan nilai RMSE Arus 0.034 (3.4 %) nilai Korelasi 0.00456 untuk nilai RMSE Gelombang 0.184 (18.4 %) nilai Korelasi Gelombang 0.417. Hasil perhitungan untuk nilai RMSE dan Korelasi Arus dan Gelombang.



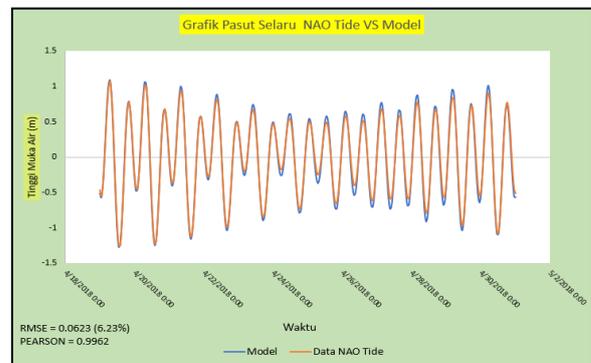
Gambar 19. Simulasi arus dibangkitkan pasang surut dan angin untuk Pulau Selaru MTB



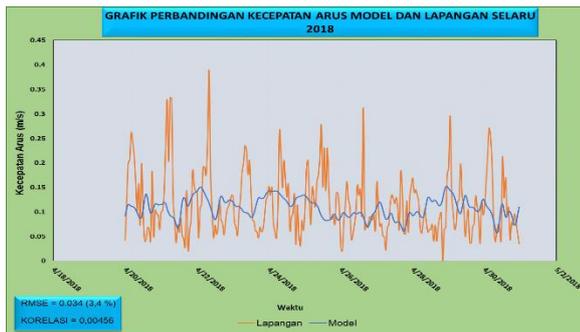
Gambar 20. Simulasi Arus Labuhan Lemian Dibangkitkan oleh Angin dan Pasang Surut



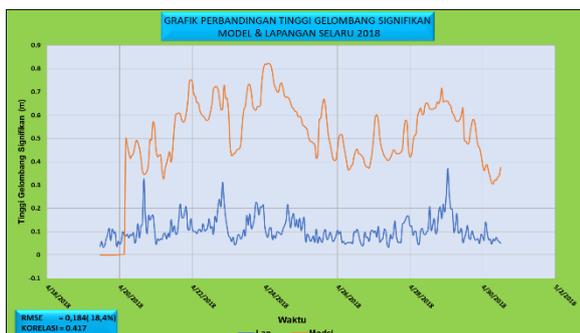
Gambar 21. Hasil perhitungan nilai RMSE dan Korelasi



Gambar 22. Hasil Perhitungan nilai RMSE dan Korelasi Pasut Selaru



Gambar 23. Hasil Perhitungan RMSE dan Korelasi Untuk Data Arus April 2018



Gambar 24. Hasil Perhitungan RMSE dan Korelasi Data Gelombang April 2018

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang ditulis oleh peneliti, membuat kesimpulan sebagai berikut :

1. *Software Mike 21* dapat digunakan untuk menampilkan simulasi (animasi) arus laut dan gelombang.
2. Pemodelan hidrodinamika mendapatkan pola dan karakteristik dari arus dan gelombang di Perairan Kepulauan Tanimbar (Labuhan Lemian Pulau Selaru) Maluku Tenggara Barat.
3. Berdasarkan data hasil pemodelan hidrodinamika pada PLI Nomor 382 Kepulauan Tanimbar dengan *ArcGIS* maka untuk pelaksanaan pendaratan basah dapat dilaksanakan sesuai dengan hasil prediksi pada Bulan April 2018 dimana hasil analisa pada tanggal

4 april 2018 pukul 03.00 WIT menunjukkan pola arus ke Barat dan Utara dengan kecepatan 0.02 – 0.20 m/s sedangkan pukul 06.00 WIT arus ke Barat dengan kecepatan 0.04 – 0.20 m/s, Elevasi muka laut 0.280 – 0.315 m sedangkan tinggi gelombang pukul 03.00 WIT 0.02 – 0.28 meter dari Barat Laut dan pukul 06.00 WIT tinggi gelombang 0.075 – 0.425 meter dari Timur Laut. Dengan hasil prediksi ini dapat mengetahui pola dan karakteristik dari arus dan gelombang sehingga pendaratan dapat dilaksanakan dengan aman dan lancar serta tumpuan pantai musuh dapat dikuasai. Hasil perhitungan untuk nilai RMSE dan Korelasi dengan menggunakan data Arus dan Gelombang kemudian dibandingkan dengan data model mendapatkan nilai RMSE untuk data Arus 0.034 (3.4 %) nilai Korelasi 0.00456 sedangkan nilai RMSE untuk data Gelombang 0.184 (18.4 %) nilai Korelasi 0.417.

Saran

1. Dalam membuat simulasi pemodelan diperlukan Laptop atau PC dengan kapabilitas yang cukup tinggi untuk *running* simulasi dengan baik.
2. Dalam membuat simulasi agar ditambahkan data gradien dasar laut sehingga bisa mengetahui dasar kedalaman hal tersebut dilakukan agar kita dapat mengetahui pola Bergeraknya air laut saat pasang maupun surut.
3. Mawar Pantai yang baru (sudah ditambahkan 2 variabel Arus dan Gelombang) diusulkan kepada pimpinan yang berwenang untuk dijadikan pedoman Pendaratan Amfibi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2010). Arus dapat dibagi dalam beberapa kelompok dan berdasarkan gaya-gaya yang ditimbulkan. indonesia.
- Aulia, A. (2013). Variabilitas Arus Eddy di Perairan Selatan Jawa-Bali Berdasarkan Data Satelit. Bandung: Unpad.
- Azi, W. (2019). Hanjar Danpusdikhidros Penggunaan Data Hidro-Oseanografi Dalam Operasi Amfibi. Bujuklak Operasi gabungan TNI tahun 2003 : 3.
- Bowden. (1983). Pengaruh angin dan perbedaan tekanan atmosfer dipermukaan laut berperan dalam pembentukan slope muka laut <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jtpk/article/download/11913/11658> (Diakses tanggal 24 Agustus 2021).
- Fahrudin. (1999). <https://www.scribd.com/doc/229924448/Arus-Laut-Ose-2013>.
- Gross. (1990). <https://www.gurupendidikan.co.id/pengertian-arus-laut/>.
- Hadi dan Radjawane, 2019. [https://www.coursehero.com/file/p5nu1a7 / Menurut -Hadi-dan- Radjawane - 2009-Arus-pasut-dengan-tipe-rotasi-terdapat di/.https://ilmugeografi.com/fenomena-alam/jenis-jenis-angin http://jejaksamudera.blogspot.com/2015/12/review-mike-2016-by-dhi.html https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/99783/sistem-informasi-geografis-konsep-konsep-dasar-perspektif-geodesi-geomatika-edisi-revisi.html](https://www.coursehero.com/file/p5nu1a7/Menurut-Hadi-dan-Radjawane-2009-Arus-pasut-dengan-tipe-rotasi-terdapat-di-https://ilmugeografi.com/fenomena-alam/jenis-jenis-anginhttp://jejaksamudera.blogspot.com/2015/12/review-mike-2016-by-dhi.htmlhttps://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/99783/sistem-informasi-geografis-konsep-konsep-dasar-perspektif-geodesi-geomatika-edisi-revisi.html)
- https://www.academia.edu/9110059/ARUS_DAN_GELOMBANG_AIR_LAUT.
- https://www.researchgate.net/figure/4-Wave-breaking-types-described-in-terms-of-the-surf-similarity-parameter-Diagrams_tbl2_284550277 (Diakses Tanggal 1 Agustus 2021).
- <https://studyandlearningnow.blogspot.com/2013/05/hidrodinamika.html> (Diakses Tanggal 1 Agustus 2021).
- https://www.google.com/search?q=proses+pasut&tbm=isch&ved=2ahUKEwjpI4vdxI_yAhUPCCsKHXXNBiEQ2-https://scholar.google.co.id/scholar?q=arus+ekman+adalah&hl=id&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar
- <https://www.jpnn.com/news/survei-hidros-untuk-mendukung-kesiapan-latihan-pprc-tni?page=2>
- <https://www.riaueditor.com/detail/PuspentNI/Prajurit-PPRC-TNI Bombardir-Pulau-Selaru> (Diakses Tanggal 12 Agustus 2021)
- <https://artikeldownloadmateritekniksipil.blogspot.com/2016/09/pengertian-gelombang-laut.html> (Diakses tanggal 18 Agustus 2021).
- https://www.researchgate.net/figure/4-Wave-breaking-types-described-in-terms-of-the-surf-similarity-parameter-Diagrams_tbl2_284550277.
- <https://media.neliti.com/media/publications/105130-ID-none.pdf> (Diakses tanggal 18 Agustus 2021).
- <https://www.scribd.com/doc/49995907/Definisi-karakteristik-dan-prinsip-pemodelan-sistem>.

- Hu & Bentler. (1998). [https://www.google.com/search?q=RMSE+ menurut hu +and+bentler+1998&lr=lang](https://www.google.com/search?q=RMSE+menurut+hu+and+bentler+1998&lr=lang).
- Hutabarat & Evans. (1985). [https://www.scribd.com/document/458118778/Makalah – Arus – Laut -Tentang – Oceanografi](https://www.scribd.com/document/458118778/Makalah-Arus-Laut-Tentang-Oceanografi).
- Keputusan Panglima TNI Nomor Kep/264/IV/2013 Tentang Doktrin TNI Operasi Amfibi. (Diakses tanggal 1 Agustus 2021).
- Kormar. (2019). Buku Saku Prajurit Kavaleri, Pasmar II Resimen Kavaleri-2 Marinir, Jakarta.(Diakses Tanggal 30 Juli 2021).
- Law & Kelton. 1991 [https://www.google.com/search?q=metode+ validasi +law+and+kelton+1991&lr=lang](https://www.google.com/search?q=metode+validasi+law+and+kelton+1991&lr=lang).
- Nicholsetal.(2009).<https://www.kajianpustaka.com/2016/01/teori-gelombang-laut.html>.
- Nontji. (1993).[https://media.neliti.com/media/publications/190334 – ID -identifikasi variabilitas - upwelling-berda.pdf](https://media.neliti.com/media/publications/190334-ID-identifikasi-variabilitas-upwelling-berda.pdf).
- Pond & Pickard.(1983). angin berhembus dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah akan menimbulkan gesekan dipermukaan air.
- Poerbandono & Djunarsjah. (2005) [https:// repository . its . ac . id/ 1363 / 1/3511100013Undergraduate_Theses.pdf](https://repository.its.ac.id/1363/1/3511100013Undergraduate_Theses.pdf).
- Phillips.(1957)
<https://textid.123dok.com/document/myjoppnpz-teori-yang-pertama-dikemukakan-oleh-phillips-1957-yang-teori-yang-kedua-dikemukakan-oleh-miles-1957-dan-yang-lebih.html>.
- Prahasta. (2015). <https://bentangalam.hutantropis.fkt.u-gm.ac.id/2016/10/10/acr-gis/>.
- Profil Pantai Pendaratan Sumber: Hanjar Danpusdikhidros,2019 dalam Azi Wardiana.
- Royal Australian Navy Hydrographic School (RANHS) Ho 1205. Parameter Pemilihan Pantai Pendaratan Amfibi
- Sabrina, S. (2010) <http://mygunawan1.blogspot.com/2015/12/laporan-pengenalan-arctgis.html>.
- Safwan, H. (2009) [https://www.google.com/search?q=kombinasi + pola + arus +pasut+ menurut+safwan+hadi+2009&lr=lang](https://www.google.com/search?q=kombinasi+pola+arus+pasut+menurut+safwan+hadi+2009&lr=lang).
- Sunarto , (2003). <https://www.kajianpustaka.com/2016/01/teori-gelombang-laut.html>