

TUGAS AKHIR

**PEMODELAN ARUS DAN GELOMBANG DI MUARA SUNGAI
JENERANG DENGAN APLIKASI MIKE 21**

***MODELING OF CURRENTS AND WAVES AT THE MOUTH
OF JENERANG RIVER USING THE MIKE 21
APPLICATION***

MUH. REYSHA S. KASIM

D111 15 524



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PEMODELAN ARUS DAN GELOMBANG DI MUARA SUNGAI JENEBERANG
DENGAN APLIKASI MIKE 21**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD REYSHA S. KASIM

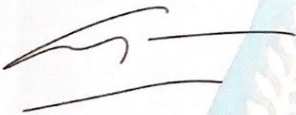
D111 15 524

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 5 Maret 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

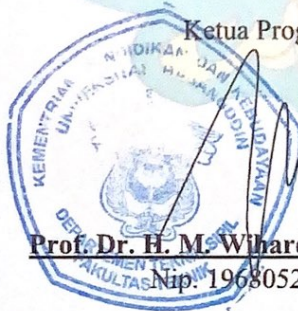
Pembimbing Pendamping,


Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST, MT
NIP. 197305121999031002


Dr. Ir. Riswal K. ST, MT
NIP. 197105052006041002

Ketua Program Studi,


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



PERNYATAAN KEASILIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, Muhammad Reysha S. Kasim, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Pemodelan Arus dan Gelombang Di Muara Jeneberang Dengan Aplikasi Mike 21**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

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

Gowa, 23 February 2021

Yang membuat pernyataan,

A yellow 1000 Rupiah postage stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text "METERAI TEMPEL" and "1000". The signature is in blue ink and appears to be "Reysha".

Muhammad Reysha S. Kasim
NIM. D111 15 524

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Pengaruh Perubahan Fungsi Lahan Pada DAS Karalloe Terhadap Peningkatan Debit Banjir Rancangan**”, sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi. sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari dosen pembimbing. Maka dalam kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.En.g.**, dan **Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.** selaku ketua dan sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr.Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., M.T.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Dr. Ir. Riswal K, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada saya.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf dan asisten Laboratorium Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ibunda **Dra. Ratna Dewi M.S,i** dan ayahanda **Ir. Samyono Kasim** atas doa, kasih sayangnnya dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun material yang telah diberikan.
2. **Muhammad Ilham Taufiq S.T., Zulham Ammar S.T., dan Muhammad Haidir, Kanda Bahrul Ulum Geofisika 2013** yang telah banyak membantu dan memberi masukan dalam proses penelitian.

3. **Fatiha Aprilianti, Hasra, Yui, Bunya, Awwalini Maghfirah, Nurul Azizah, Mirsa Riandiani, Darasita Zahra, Febriani Eka Putri, Fiky Deska Pratama, Abdian Angriawan, Ika Aidina, Ikram Asmar** yang senantiasa menjadi motivator dalam dunia perkuliahan, memberikan dukungan serta semangat kepada penulis, baik di dalam kampus maupun di luar kampus.
4. Teman-teman **PATRON 2016**, mahasiswa Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2015** atas kenangan-kenangan yang telah diberikan.
5. Teman-teman **Konsentrasi Keairan Angkatan 2015** atas segala momen dan atas segala hal yang membantu proses penelitian.
6. Teman-teman **Just Syndicate** yang selalu memberikan dukungan dan semangat

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 23 February 2021

Penulis

ABSTRAK

Indonesia mempunyai garis pantai dengan panjang 80.791 km dan merupakan kawasan dengan penduduk mayoritas bermukim di pesisir pantai. Sebagian besar perairan, faktor utama yang dapat menimbulkan arus yang relatif kuat adalah angin dan pasang surut. Arus yang disebabkan oleh angin pada umumnya bersifat musiman, dimana pada suatu musim arus mengalir ke suatu arah dengan tetap, dan pada musim berikutnya akan berubah arah sesuai dengan perubahan arah angin yang terjadi. Dijkstra (2008) menjelaskan bahwa arus, pasang surut dan gelombang merupakan parameter penting dalam dinamika perairan yang memberikan pengaruh terhadap wilayah pesisir dan laut. Sehingga perlu didukung informasi tentang pola arus. Pentingnya pemodelan gelombang dan arus dalam suatu gambaran konkrit untuk melihat pola pergerakan gelombang dan arus dengan Muara Jeneberang sebagai objek penelitian, permodelan ini dilakukan dengan bantuan aplikasi pemetaan MIKE21. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah survey langsung di lapangan, pengambilan data di Balai Besar Wilayah Sungai Jeneberang-Pompeang, dan simulasi komputasi MIKE21. Hasil dari penelitian ini menunjukkan sebaran Gelombang dan Arus secara umum kondisi gelombang untuk setiap kondisi berdasarkan data yang diperoleh dari simulasi menggunakan software mike di Muara Jeneberang dominan menuju kearah barat, sementara itu untuk kondisi arus itu sendiri dominan menuju kearah timur laut dan timur.

Kata kunci: Arus, Gelombang, MIKE 21, Muara Jeneberang.

ABSTRACT

Indonesia has a coastline with a length of 80,791 km and is an area with the majority of the population living on the coast. For most waters, the main factors that can cause relatively strong flow are wind and tides. The flow caused by wind are generally seasonal in nature, where in one season the current flows in a constant direction, and in the next season it will change direction according to changes in wind direction that occur. Dijkstra (2008) explains that flows, tides and waves are important parameters in water dynamics that have an influence on coastal and marine areas. So it needs to be supported by information about flow patterns. The importance of modeling waves and flows in a concrete image to see the movement patterns of waves and flows with Muara Jeneberang as the object of research, this modeling is carried out with the help of the MIKE21 mapping application. The methods applied in this research are direct field surveys, data collection at the Balai Besar Wilayah Sungai Jeneberang-Pompengan, and MIKE21 simulations. The results of this study indicate the distribution of waves and flows in general, the wave conditions for each condition are based on the data obtained from simulations using the mike software in Muara Jeneberang dominantly towards the west, while for the flow condition itself is dominant towards the northeast and east.

Keywords: Flow, Wave, MIKE 21, Muara Jeneberang.

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASILIAN KARYA ILMIAH	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	x
BAB 1. PENDAHULUAN	xv
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	4
F. Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Beberapa Penelitian Terdahulu	7
B. Tinjauan Umum Muara	10

B.1. Pengertian Muara	10
B.2. Morfologi Muara	12
B.3. Hidrodinamika Muara.....	16
C. Arus 17	
C.1. Gerakan Arus Pasang Surut	19
C.2. Arus Pasang Surut di Estuari	21
B.2.1 Ketidaksimetrian dan Perbedaan Fasa	21
B.2.2 Variasi Arus Pasang Surut di Estuari	25
C.3. Hubungan antara Waktu Arus Pasang Surut dan Waktu Pasang Surut.....	26
C.4. Efek Arus Non Pasang Surut	27
C.5. Persamaan Hidrodinamika.....	28
D. Gelombang Laut.....	30
D.1. Karakteristik Gelombang Laut.....	31
D.2. Peramalan Gelombang Laut	32
D.3. Persamaan Hidrodinamika.....	39
E. Software Mike 21	44
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	50
A. Jenis dan Variabel Penelitian	50
B. Penentuan Lokasi Penelitian.....	50

C. Data Penelitian	51
D. Prosedur Penelitian	51
E. Diagram Alir Penelitian	79
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	80
A. Pasang surut	80
B. Pemodelan	81
B.1. Daerah Pemodelan	81
C. Kecepatan Angin Dan Peramalan Gelombang	82
C.1. Fetch Efektif	82
C.2. Hindcasting Tinggi Dan Periode Gelombang	82
D. Simulasi Arus	83
D.1. Kecepatan Arus	85
D.2. Kecepatan Arus Rata-Rata, Kecepatan Arus Maksimal Dan Kecepatan Arus Terkecil	89
E. Simulasi Gelombang	89
E.1. Tinggi Gelombang Signifikan	91
E.2. Tinggi Signifikan Gelombang Rata-Rata, Tinggi Signifikan Gelombang Maksimal Dan Tinggi Signifikan Gelombang Terendah	93
BAB 5. Kesimpulan dan saran	94
A. Kesimpulan	94

B. Saran.....	94
---------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Flood Figure 1</i> <i>Strength and ebb strength</i>	20
Gambar 2. Kurva pasang surut di Estuari Sungai Hudson (kiri), New York (Sumber: Park, 2005); Kurva pasang surut pada saat <i>spring</i> di Sungai Hooghly, India (kanan)	22
Gambar 3. Kurva perbedaan fasa diantara arus pasang surut dan elevasi muka air (Sumber: van Rijn, 1990).....	22
Gambar 4. Perbedaan fasa diantara arus dekat dasar (Sumber: van Rijn, 1990).....	23
Gambar 5. Variasi kecepatan arus pasang surut dalam arah melintang.	25
Gambar 6. <i>Windrose</i> 8 arah mata angin dari tahun 1990-2009 (Sumber: Hidayah, dkk., 2012).	35
Gambar 7. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat (Sumber: <i>after</i> Resio dan Vincent, 1977b dalam CERC, 1984).	36
Gambar 8. Contoh <i>fetch</i> (Sumber: Triadmodjo, 1999).	38
Gambar 8. Contoh <i>fetch</i> (Sumber: Triadmodjo, 1999). Error! Bookmark not defined.	
Gambar 9. Nomogram peramalan gelombang (Sumber: CERC, 1984)...	39
Gambar 10. Arah penjalaran gelombang dan variasi amplitudo ke.....	40
Gambar 11. Gelombang Kelvin di BBU (Adaptasi: van Rijn, 1990).	43

Gambar 12. Program DHI MIKE 21	44
Gambar 13. Ilustrasi <i>unstructured triangular mesh</i> dengan <i>cell-centered</i> Node • : H, z, w, D, s, q, q2, q2l, Am, Kh; Centroid × : u, v	46
Gambar 14. Prinsip bentuk <i>mesh</i> pada kasus 2D/3D (sumber : DHI Water and Enviroment, 2012).....	46
Gambar 15. Ilustrasi perbedaan bentuk grid vertikal pada koordinat sigma dan kombinasi koordinat sigma dan $-z$, konfigurasi dengan koordinat sigma dapat mempresentasikan batimetri (Sumber : DHI Water and Enviroment, 2012)	47
Gambar 16. Konfigurasi desain pesisir pada sistem grid teratur (POM) dan sistem grid segitiga tidak teratur (FVCOM) (Sumber : Chen et. al, 2006)	48
Gambar 17. Ilustrasi perbedaan bentuk <i>mesh</i> pada penyelesaian numerik 2D, konfigurasi <i>unstructured triangular mesh</i> dapat mempresentasikan garis pantai (Sumber : Chen et. al, 2006)	48
Gambar 18. Penentuan Lokasi Penelitian.....	51
Gambar 19. Pembuatan <i>New Project</i>	54
Gambar 20. Pembuatan <i>Mesh Generator</i>	54
Gambar 21. Pemilihan Lokasi data lingkugan/proyeksi peta	55
Gambar 22. Impor data <i>shoreline</i>	55
Gambar 23. Penginputan file <i>.xyz shoreline</i>	56
Gambar 24. <i>Boundary Properties</i>	56
Gambar 25. <i>Shoreline</i> yang belum di rapikan.....	57

Gambar 26. <i>Shoreline</i> yang telah di rapikan	57
Gambar 27. <i>Import</i> data bathimetri	58
Gambar 28. Tampilan <i>import scatter data</i>	58
Gambar 29. Tampilan pemilihan file batimetri	59
Gambar 30. Tampilan <i>shoreline</i> dan scatter bathimetri	59
Gambar 31. Pembuatan garis boundary di batas terluar/daerah penelitian	60
Gambar 32. <i>Arc Property</i>	61
Gambar 33. <i>Mesh generator</i>	61
Gambar 34. Hasil <i>Mesh Generator</i>	62
Gambar 35. <i>Interpolate mesh</i>	63
Gambar 36. Model yang telah di interpolasi	64
Gambar 37. <i>Export mesh</i>	64
Gambar 38. Data Pasang Surut	64
Gambar 39. <i>Input Time Series</i> Pasang Surut	65
Gambar 40. <i>Input Time Series</i> Pasang Surut	65
Gambar 41. <i>Input File Properties Time Series</i> Pasang Surut	66
Gambar 42. <i>Time Series</i>	66
Gambar 43. <i>Time Series</i> Pasang Surut	67
Gambar 44. <i>Flow Model</i>	67
Gambar 45. <i>Flow Model FM</i>	68
Gambar 46. <i>Load Mesh File</i>	68

Gambar 47. Mengatur <i>time</i> yang akan ditentukan sesuai dengan pasang surut yang dimiliki.....	69
Gambar 48. <i>Module Selection</i>	69
Gambar 49. <i>Boundary Conditions</i>	70
Gambar 50. <i>Output Area Flow Model FM</i>	71
Gambar 51. <i>Output Item Flow Model FM</i>	71
Gambar 52. Modul <i>Hydrodynamic Flow Model</i> siap untuk dijalankan.....	72
Gambar 53. <i>Spectral Wave</i>	72
Gambar 54. <i>Load Mesh File</i>	73
Gambar 55. Edit Nama <i>Boundary</i>	73
Gambar 56. Mengatur <i>time</i> yang akan ditentukan sesuai dengan pasang surut yang dimiliki.....	74
Gambar 57. <i>Boundary Conditions</i>	75
Gambar 58. <i>Output Data Area Spectral Wave</i>	75
Gambar 59. Modul <i>Spectral Wave</i> siap untuk dijalankan.....	76
Gambar 60. Tahapan <i>Running</i> Aplikasi	77
Gambar 61. Visualisasi Hasil Simulasi Mike 21	78
Gambar 62. Grafik Pasang Surut 15 Hari Muara Jeneberang	80
Gambar 63. Peta muara sungai Jeneberang	81
Gambar 64. <i>Wind Rose</i> dan <i>Wave Rose</i>	83
Gambar 65. Pola arus pada saat <i>Neap Tide</i>	87
Gambar 66. Pola Arus Pada Saat <i>Spring tide</i>	88
Gambar 67. Grafik Kecepatan Arus	89

Gambar 68. (a) Gelombang tertinggi datang dari arah barat dengan H_{max} : 1.01014 m dan T : 7.9 detik (b) gelombang tertinggi datang dari arah barat dengan H_{max} : 1 m dan T : 7.9 detik.....	92
Gambar 69. Grafik Tinggi Gelombang Signifikan.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Muara.....	13
---------------------------------	----

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perairan Indonesia memiliki pengaruh penting terhadap iklim global. Indonesia menjadi satu-satunya penghubung Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, dimana Indonesia menjadi penghubung dari jalur conveyor belt sirkulasi termohalin atau yang lebih dikenal dengan Arus Lintas Indonesia (Arlindo). Arlindo secara simultan mengontrol sirkulasi global. (Rosenfield et al., 2010). Indonesia mempunyai garis pantai dengan panjang 80.791 km dan merupakan kawasan dengan penduduk mayoritas bermukim di pesisir pantai. Di daerah pesisir pantai ini pula tempat kegiatan ekonomi yang strategis berkembang, terlihat dari banyaknya prasarana kota, pelayanan jasa, perikanan serta kegiatan industri. Arah angin di perairan Selat Makassar saat Musim Barat (MB) datang dari barat-barat laut, saat Musim Peralihan Satu (MPI) datang dari timur laut dan saat Musim Timur (MT) datang dari timur-tenggara. Kekuatan angin dan gelombang pada MB dan MT di perairan Selat Makassar akan menghasilkan lapisan turbulen atau lapisan tercampur (mixed layer).

Pada sebagian besar perairan, faktor utama yang dapat menimbulkan arus yang relatif kuat adalah angin dan pasang surut. Arus yang disebabkan oleh angin pada umumnya bersifat musiman, dimana pada suatu musim arus mengalir ke suatu arah dengan tetap, dan pada musim berikutnya akan berubah arah sesuai dengan perubahan arah

angin yang terjadi. Pasang surut (pasut) menimbulkan arus yang bersifat harian, pada saat air pasang, arus pasut akan mengalir dari lautan lepas ke arah pantai, dan akan mengalir kembali ke arah semula pada saat air surut (Pariwono, 1999). Arus dekat pantai sangat penting dalam beberapa hal, sehingga pengetahuan mengenai sirkulasi berguna untuk perencanaan bangunan di laut atau pantai serta analisis penyebaran suatu bahan yang dibuang atau ditimbun di tepi pantai.

Dijkstra (2008) menjelaskan bahwa arus, pasang surut dan gelombang merupakan parameter penting dalam dinamika perairan yang memberikan pengaruh terhadap wilayah pesisir dan laut. Sehingga perlu didukung informasi tentang pola arus, pasang surut dan gelombang sebagai informasi untuk menunjang aktivitas di sekitar Pantai. Dengan melihat pentingnya kajian mengenai gelombang dan arus, penulis memandang bahwa pentingnya pemodelan gelombang dan arus dalam suatu gambaran konkrit untuk melihat pola pergerakan gelombang dan arus dengan Muara Jeneberang sebagai objek penelitiannya. Adapun permodelan ini dilakukan dengan bantuan aplikasi pemetaan MIKE21

. Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukanlah penelitian dengan judul:

**“PEMODELAN ARUS DAN GELOMBANG DI MUARA SUNGAI
JENEBERANG MENGGUNAKAN APLIKASI MIKE 21”**

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana sebaran arus dan gelombang di Muara Jeneberang hasil simulasi menggunakan aplikasi Mike 21 ?
2. Bagaimana karakteristik arus dan gelombang Muara Jeneberang melalui analisis diagram atau grafik?

C. Tujuan Penelitian

Meninjau dari latar belakang di atas, maka tujuan penulisan laporan pada tugas akhir ini adalah:

1. Untuk menganalisis sebaran gelombang dan arus di Muara Jeneberang hasil simulasi menggunakan aplikasi Mike 21
2. Untuk menganalisis kecepatan maksimum, kecepatan rata-rata dan kecepatan minimum arus dan untuk mengetahui tinggi gelombang maksimum, tinggi gelombang minimum dan tinggi gelombang rata-rata di Muara Jeneberang melalui analisis diagram atau grafik

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menganalisis fungsi karakteristik arus dan gelombang pada Muara Jeneberang

2. Sebagai informasi bagi pemerintah dan pihak terkait dalam pengambil kebijakan dalam melakukan pemanfaatan, pengendalian dan pembangunan pada kawasan Muara Jeneberang

E. Batasan Masalah

Agar penelitian ini berjalan dengan baik dan sesuai dengan rencana, maka penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Sebaran arus dan gelombang yang akan diteliti adalah Muara Jeneberang
2. Sebaran arus dan gelombang yang akan di jelaskan adalah pada saat rata-rata pasang surut tertinggi dan terendah dalam 15 hari pengamatan pasang surut
3. Daerah studi kasus yang diteliti adalah dari Bendung Karet ke Muara Jeneberang
4. Tidak membahas serta menghitung konduktivitas, oksigen terlarut, klorofil, kandungan nutrisi dan sedimentasi.
5. Tidak membahas segi ekonomi maupun sosial yang diakibatkan perubahan fungsi lahan.
6. Data-data penelitian yang digunakan berupa data batimetri, pasang surut, garis pantai dan data angin 2 tahun terakhir yang diperoleh dari Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Provinsi Sulawesi Selatan, dan Balai Besar Wilayah Sungai Pompeang Jeneberang Sulawesi Selatan.

7. Pemetaan dilakukan dengan bantuan aplikasi Mike 21

F. Sistematika Penulisan

Secara umum penulisan tugas akhir ini terbagi dalam lima bab. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan menyajikan gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilaksanakan. Dalam pendahuluan ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan yang digunakan pada tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab berisi mengenai konsep teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan penelitian dan memberikan gambaran mengenai metode pemecahan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menyajikan lokasi penelitian, variabel penelitian, data yang digunakan dalam penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan hasil analisis perubahan fungsi lahan, peningkatan aliran permukaan (*surface runoff*), serta analisis peningkatan debit banjir.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai hasil analisa yang diperoleh yang disertai dengan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beberapa Penelitian Terdahulu

Chaeril Anwar, Amiruddin (2001), dalam penelitian tentang Pemodelan Pola Arus Dan Gelombang Di Sepanjang Pantai Delta Muara Sungai Saddang menulis bahwa sirkulasi arus yang terjadi setiap musim berbeda karena arah datang gelombang setiap musim yang berbeda, sedangkan kecepatan arus yang terbentuk di pengaruhi oleh arah datang gelombang, periode dan tinggi pada setiap musim-musim yang berbeda. Pada saat angin muson barat berhembus, arus datang dari arah barat dengan kecepatan 0,005 m/dtk - 0,029 m/dtk dan arah barat laut dengan kecepatan 0,016 m/dtk – 0,069 m/dtk. Pada saat angin muson timur berhembus, arus datang dari arah barat dengan kecepatan 0,004 m/dtk - 0,021 m/dtk, arah barat daya dengan kecepatan 0,015 m/dtk - 0,034 m/dtk dan arah selatan barat daya dengan kecepatan 0,016 m/dtk – 0,38 m/dtk. Sedangkan pada musim peralihan arus laut datang dari arah barat dengan kecepatan 0,004 m/dtk - 0,018 m/dtk, arah barat daya dengan kecepatan 0,017 m/dtk - 0,043 m/dtk dan arah barat laut dengan kecepatan 0,011 m/dtk – 0,042 m/dtk.

Riswal Karamma (2020), dalam penelitiannya bertujuan untuk memodelkan pola sebaran dan stratifikasi struktur massa air akibat pengaruh hidrodinamika dengan menggunakan model numerik dua dimensi. Pencatatan data dilakukan pada kondisi pasang purnama dan pasang surut selama 18 hari di Sungai Stuary Jeneberang, Makassar.

Penelitian ini menggunakan model numerik 2D dengan basis mesh fleksibel. Model ini dapat mengkonfigurasi garis pantai dan batimetri yang diterapkan di muara. Validasi model menunjukkan tingkat kesalahan elevasi muka air pada stasiun 1 dan 2 masing – masing sebesar 2,26% dan 5,47%. Begitu juga dengan validasi model hasil pengukuran arus, u-velocity 9,7% dan v-velocity 4,8%. Hasil simulasi menunjukkan pola distribusi salinitas dan temperatur mengikuti pola aliran sehingga mempengaruhi distribusi struktur massa air di perairan muara Sungai Jeneberang. Interaksi yang terjadi antara struktur massa air dengan faktor hidrodinamika menghasilkan arus gerak yang membawa sejumlah massa air yaitu salinitas dan temperatur. Struktur yang tercampur rata terjadi pada jarak 400 m - 1000 m dari bibir muara.

Wijaksono et al., (2012), dalam penelitian mengenai potensi energi arus laut, untuk pengukuran arus bergerak menggunakan metode ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) mobile untuk mendapatkan jangkauan lokasi yang luas dan mengetahui posisi potensial dengan kecepatan arus yang memenuhi syarat. Sedangkan pengukuran arus stasioner menggunakan ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) statis di satu titik dimaksudkan untuk mendapatkan data arah dan kecepatan arus. Untuk mengetahui posisi pengambilan data dilakukan metode penentuan posisi menggunakan GPS (Global Positioning System). Kecepatan aliran arus dan perhitungan distribusi rapat daya menggunakan bantuan model hidrodinamika 2D (Masduki dan Yuningsih, 2011). Metode ini sangat

mudah digunakan dalam pengukuran arus dan mempunyai sistem yang otomatis. Tetapi jika ada gelembung dalam turbulensi laut dapat menyebabkan kesalahan dalam perhitungan arus. Selain itu penelitian tentang karakteristik arus laut dalam upaya pencarian energi alternatif, untuk mengetahui arah dan kecepatan arus laut tiap lapisan kedalaman perairan menggunakan metode deskriptif. Pengukuran arus dilakukan dengan metode Eulerian di satu titik yang dimaksudkan untuk mendapatkan data arah dan kecepatan arus absolut, baik saat kondisi air tunggang kecil maupun saat 11 11 kondisi air tunggang besar. Pembuatan peta potensi rapat daya menggunakan software SMS 8.1 (Surface-water Modelling System) dan ArcGis 9.3

Aryono et al., (2014), didalam penelitian ini juga dilakukan menggunakan pendekatan metode Lagrangian. Pengukuran arus bergerak menggunakan GPS dan transducer di beberapa titik lokasi penelitian untuk mendapatkan data kecepatan dan kedalaman dalam fungsi waktu. Hasil pengukuran dianalisa dan dilakukan pendekatan modeling menggunakan SMS (*Surface-water Modelling System*) untuk menggambarkan arus saat kondisi pasang dan surut.

Rufaida (2008), didalam penelitian tentang pasang surut dan pola arus di muara sungai menggunakan metode Adiralty untuk memperoleh konstanta harmoniknya. Analisis harmonik dilakukan dengan metode IOS method menggunakan perangkat lunak MIKE 21 Toolbox untuk mendapatkan komponen arus pasut (Surbakti, 2012). Kelebihan dari

(Placeholder2)metode ini dapat menganalisis data pasut dalam jangka waktu pendek (29 hari, 15 hari, 7 hari dan data 1 hari).

B. Tinjauan Umum Muara

B.1. Pengertian Muara

Muara sungai atau lebih ringkasnya muara adalah wilayah badan air tempat masuknya satu atau lebih sungai ke laut, samudra, danau, bendungan, atau bahkan sungai lain yang lebih besar. Di wilayah pesisir, muara sungai sangat terpengaruh oleh kondisi air daratan seperti aliran air tawar dan sedimen, serta air lautan seperti pasang-surut, gelombang, dan masuknya air asin ke darat. Bergantung pada lokasi dan kondisi lingkungannya, muara dapat mengandung banyak relung ekologis dalam area kecil, dan begitu juga terkait dengan tingginya keanekaragaman hayati. Muara-muara sungai besar dapat membentuk estuaria dan juga delta.

Muara sungai adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan dengan laut. Permasalahan di muara sungai dapat ditinjau di bagian mulut sungai (*river mouth*) dan estuari. Mulut sungai adalah bagian paling hilir dari muara sungai yang langsung bertemu dengan laut, sedangkan estuari adalah bagian dari sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut. Pengaruh pasang surut terhadap sirkulasi aliran (kecepatan/debit, profil muka air, intrusi air asin) di estuari dapat sampai jauh ke hulu sungai, tergantung

pada tinggi pasang surut, debit sungai, dan karakteristik estuari (tampang aliran, kekasaran dinding, dan sebagainya).

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 padaampang sungai di sebelah hulu. Selain itu muara sungai juga harus melewati debit yang ditimbulkan oleh pasang surut, yang bisa lebih besar dari debit sungai. Sesuai dengan fungsinya tersebut muara sungai harus cukup lebar dan dalam. Selain itu muara (estuari) mempunyai nilai ekonomis yang penting, karena dapat berfungsi sebagai alur penghubung antara laut dan daerah yang cukup dalam di daratan. Pengaruh pasang surut yang masuk ke estuari dapat menyebabkan kenaikan muka air, baik pada waktu air pasang maupun air surut. Selama periode pasang, air dari laut dan dari sungai masuk ke estuari dan terakumulasi dalam jumlah sangat besar. Selama periode surut, volume air tersebut akan kembali ke laut, sehingga karena besarnya volume air yang dialirkan ke laut maka kedalaman aliran akan cukup besar. Selain itu kecepatan arus juga besar yang dapat mengerosi dasar estuari sehingga dapat mempertahankan kedalaman aliran. Kondisi ini memungkinkan digunakannya estuari untuk alur pelayaran menuju ke daerah pedalaman. Dengan demikian keberadaan estuari akan mempercepat perkembangan daerah yang ada di sekitarnya, karena memungkinkan dibukanya pelabuhan-pelabuhan di daerah tersebut. Beberapa pelabuhan yang

berada di estuari diantaranya adalah pelabuhan Selawan, Palembang, dan sebagainya

B.2. Morfologi Muara

Muara sungai dapat dibedakan dalam tiga kelompok yang tergantung pada faktor dominan yang mempengaruhinya. Ketiga faktor dominan tersebut adalah gelombang, debit sungai dan pasang surut (Yuwono, 1994). Ketiga faktor tersebut bekerja secara simultan tetapi biasanya salah satunya mempunyai pengaruh lebih dominan. Gelombang memberikan pengaruh paling dominan pada sungai kecil yang bermuara di laut terbuka (luas). Sebaliknya sungai besar yang bermuara di laut tenang didominasi oleh debit sungai (Triatmojo, 1999).

Kondisi morfologi dan topografi perairan, kondisi pasang surut dan kondisi aliran sungai merupakan faktor penting dalam proses hidrodinamika yang terjadi di muara. Tabel 1 berikut menunjukkan klasifikasi utama muara berdasarkan kriteria yang berbeda.

Tabel 1. Klasifikasi Muara

Kriteria	Pengarang	Klasifikasi
Topography	Pritchard (1955)	• Muara di perairan laut
		• Tipe muara-Fjord (Fjord-type estuaries)
		• Muara yang dibentuk oleh delta (Bar
Morphology	Dalrymple et al (1992)	• Muara yang didominasi gelombang laut
		• Muara yang didominasi pasang surut
Pasang-surut	Davies, J.L.1964	• Micro-tidal estuary ($H < 2m$)
		• Meso-tidal estuary ($2 < H < 4m$)
		• Macro-tidal estuary ($4 < H < 6m$)
Salinitas	Pritchard (1955)	• Highly stratified estuaries
	and Cameron and	• Partly mixed estuaries
	Pritchard (1963)	• Well mixed estuaries
Aktivitas manusia	Saeijs.H.L.F (1982)	• Muara alam
		• Dipengaruhi dan diubah oleh manusia • Perubahan bentuk muara akibat bangunan pantai

Hal ini dapat dikenali dari definisi muara bahwa ada tiga karakteristik muara yang mengatur konsentrasi air laut seperti: setengah tertutup, hubungan dengan laut terbuka dan air tawar yang berasal dari limpasan permukaan. Oleh karena itu, salinitas merupakan parameter yang penting untuk klasifikasi muara. Dalam rangka untuk mengklasifikasikan, parameter stratifikasi dapat diterapkan seperti Simmons ratio (rasio aliran

sungai per siklus pasang surut terhadap tinggi pasang surut), Ippen dan Harleman ED (ukuran jumlah energi yang hilang oleh gelombang pasang relatif dengan yang digunakan pada pencampuran badan air). Gambar 1, 2, dan 3 berikut memperlihatkan gradien sirkulasi air, salinitas dan kecepatan di muara dengan jenis yang berbeda sesuai dengan klasifikasi salinitas.

B.2.A Muara Yang Didominasi Gelombang Laut

Gelombang besar yang terjadi pada pantai berpasir dapat menyebabkan angkutan sedimen pasir, baik dalam arah tegak lurus maupun sejajar pantai. Dari kedua jenis transport tersebut, transport sedimen sepanjang pantai adalah yang paling dominan (Triatmojo, 1999). Transport sedimen sepanjang pantai terdiri dari dua komponen yaitu transport sedimen dalam bentuk mata gergaji di garis pantai dan transport sepanjang pantai di surf zone. Angkutan sedimen tersebut dapat bergerak masuk ke muara sungai dan karena di daerah tersebut kondisi gelombang sudah tenang maka sedimen akan mengendap. Banyaknya endapan tergantung pada gelombang dan ketersediaan sedimen di pantai. Semakin besar gelombang semakin besar angkutan sedimen dan semakin banyak sedimen yang mengendap di muara. Apabila debit sungai kecil kecepatan arus tidak mampu mengerosi endapan tersebut sehingga muara sungai dapat benar benar tertutup oleh sedimen.

B.2.B Muara Yang Didominasi Debit Sungai

Muara ini terjadi pada sungai dengan debit sepanjang tahun cukup besar yang bermuara di laut dengan gelombang relatif kecil. Sungai tersebut membawa angkutan sedimen dari hulu cukup besar. Sedimen yang sampai di muara sungai merupakan sedimen suspensi dengan diameter partikel sangat kecil (Triatmojo, 1999), yaitu dalam beberapa mikron. Sifat-sifat sedimen kohesif ini lebih tergantung pada gaya-gaya permukaan dari pada gaya berat, yang berupa gaya tarik menarik dan gaya tolak menolak. Mulai salinitas air sekitar 1 sampai 3 ‰, gaya tolak menolak antara partikel berkurang dan partikel-partikel tersebut akan berkabung membentuk flokon dengan diameter jauh lebih besar dari partikel individu. Demikian juga kecepatan endapnya meningkat tajam. Pada waktu air surut sedimen tersebut akan terdorong ke muara dan menyebar di laut. Selama periode sekitar titik balik di mana kecepatan aliran kecil, sebagian suspensi mengendap. Saat berikutnya di mana air mulai pasang kecepatan aliran bertambah besar dan sebagian suspensi dari laut masuk kembali ke sungai bertemu sedimen yang berasal dari hulu.

Selama periode dari titik balik ke air pasang maupun air surut kecepatan aliran bertambah sampai mencapai maksimum dan kemudian berkurang lagi. Di alur sungai, terutama pada waktu air surut kecepatan aliran besar, sehingga sebagian sedimen yang diendapkan tererosi kembali. Tetapi di depan muara di mana aliran telah menyebar, kecepatan

aliran lebih kecil sehingga tidak mampu mengerosi semua sedimen yang telah diendapkan. Dengan demikian dalam satu siklus pasang surut jumlah sedimen yang mengendap lebih banyak daripada yang tererosi, sehingga terjadi pengendapan di depan mulut sungai. Proses tersebut terjadi terus menerus sehingga muara sungai akan maju ke arah laut membentuk delta.

B.2.C Muara Yang Didominasi Pasang Surut

Apabila tinggi pasang surut cukup besar, volume air pasang yang masuk sungai sangat besar (Triatmojo, 1999). Air laut akan berakumulasi dengan air dari hulu sungai. Pada waktu air surut, volume air yang sangat besar tersebut mengalir keluar dalam periode waktu tertentu yang tergantung pada tipe pasang surut. Kecepatan arus selama air surut tersebut besar, yang cukup potensial membentuk muara sungai. Muara

sungai tipe ini berbentuk corong atau lonceng. Angkutan sedimen berasal dari sungai dan laut. Beberapa endapan terjadi di muara sungai. Di sebagian besar perairan di Indonesia tinggi pasang surut adalah kecil, yaitu berkisar antara 1 dan 2 m, sehingga tidak terbentuk muara sungai tipe ini.

B.3. Hidrodinamika Muara

Ada sejumlah faktor yang mempengaruhi proses hidrodinamika di muara, seperti besaran relatif dari variasi pasang surut, arus, aliran air tawar, dan gaya gravitasi yang disebabkan oleh perbedaan densitas

antara air tawar dan air laut. Angin dan gelombang adalah parameter yang juga ikut mempengaruhi kondisi hidrodinamika di muara untuk jangka pendek.

C. Arus

Arus Laut Permukaan merupakan gerakan massa air yang disebabkan oleh angin yang berhembus di permukaan laut pada kedalaman kurang dari 200 m yang berpindah dari satu tempat yang bertekanan udara tinggi ke tempat lain yang bertekanan udara rendah yang sangat luas dan terjadi pada seluruh lautan di dunia (Gross, M.G, 1990). Angin muson merupakan pola angin yang berhembus secara periodik (minimal 3 bulan) dan di antara periode satu dengan periode lain memiliki pola angin yang berlawanan dan berganti arah secara berlawanan setiap setengah tahun. Menurut Triadmodjo (1999) Angin Muson dibagi menjadi 2, yaitu angin muson Barat yang terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari, dan maksimal pada bulan Januari, dan angin muson Timur yang terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus, dan maksimal pada bulan Juli. Disamping itu terdapat masa peralihan yakni masa perubahan dari angin muson Barat ke angin muson Timur atau sebaliknya. Biasanya bertiup antara Maret-Mei dan September-November. OSTM/Jason-2 merupakan misi lanjutan dari satelit pendahulunya, yaitu Topex/Poseidon (selanjutnya disebut T/P) atau Jason-1. Tujuan utama diluncurkannya satelit ini adalah untuk menghitung topografi muka air laut

(Sea Surface Topography (SST)) yang kurang lebih datanya memiliki level yang sama dengan data satelit T/P. Data yang dihasilkan oleh satelit Altimetri Jason-2 berupa data Geophysical Data Record (GDR), Interim Geophysical Data Record (IGDR), dan Operational Sensor Data Record (OSDR) (AVISO, 2011). Arus pasang surut adalah pergerakan massa air laut secara horizontal yang dihubungkan dengan naik turunnya permukaan air laut akibat gaya tarik benda-benda angkasa terutama bulan dan matahari. Arus pasang surut yang disebabkan oleh adanya fenomena pasang surut air laut berubah arahnya secara periodik. Pada waktu pasang di suatu perairan misalnya arus laut akan bergerak=, sebaliknya arus bergerak dalam arah yang berlawanan (keluar) pada saat surut. Apabila suatu daerah memiliki tipe pasang surut harian tunggal maka kecenderungan arus pasang surut yang terjadi adalah harian tunggal yang berarti dalam satu hari terjadi perubahan arah arus satu kali, sedangkan untuk wilayah yang memiliki tipe pasang surut harian ganda maka arus pasang surutnya akan mengalami dua kali perubahan arah arus dalam satu hari. Sementara itu, pasang surut campuran arahnya akan mengalami perubahan dalam interval sekali sampai dua kali sehari. Besarnya kecepatan arus pasang surut yang akan terjadi akan sangat bergantung pada pasang surut. Pada saat elevasi pasang surut mencapai titik tertinggi (maksimum) dan terendah (minimum) maka laju arus akan sama dengan nol. Laju arus maksimum terjadi pada saat elevasinya sama dengan nol. Arus pasang surut akan mengalami perubahan arah setelah

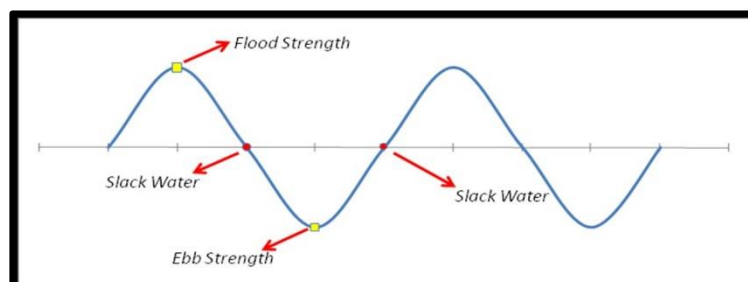
elevasi pasang surut mencapai minimum atau maksimum. Karena arus pasang surut bersifat periodik maka kejadiannya dapat diramalkan.

C.1. Gerakan Arus Pasang Surut

Gerakan arus pasang surut ada tiga tipe, yaitu gerak rotasi dan gerak yang berubah arah (bolak-balik), dan tipe hidrolik. Di laut lepas, gerak arus pasang surut adalah gerak rotasi yang berbentuk elips dengan arah rotasi adalah searah dengan putaran jarum jam di belahan bumi utara (BBU) dan berlawanan arah dengan jarum jam di belahan bumi selatan (BBS). Arus pasang surut bergerak secara kontinu dengan arah yang terus berubah mengikuti arah yang searah atau berlawanan dengan putaran jarum jam dalam satu periode pasang surut. Di lepas pantai, rotasi arus pasang surut tipe *semidiurnal* melengkapi satu siklusnya dalam waktu 12 jam 25 menit. Akibat pengaruh deklinasi bulan, terjadi ketidaksamaan harian pada pasang surut dan arus pasang surutnya. Jika ketidaksamaan ini cukup besar maka vektor arus akan memperlihatkan dua elips dengan ukuran yang berbeda selama periode 24 jam 50 menit. Ketidaksamaan harian terjadi pada *tropic tide* dimana deklinasi bulan adalah maksimal yaitu 28° terhadap ekuator, sedangkan pada *equatorial tide* dengan bulan tepat berada diatas ekuator bumi, ketidaksamaan harian dari arus tidak terjadi.

Di sungai, estuari dan teluk gerakan arus pasang surut adalah bolak balik dan kondisi pola arus pasang surutnya sebagai berikut:

- a. Saat pasang Muka air di laut lebih tinggi dari pada di estuari (teluk), akibatnya arus pasang surut bergerak memasuki estuari (teluk), kondisi ini disebut dengan *flood*.
- b. Saat surut Muka air di laut lebih rendah dari pada di estuari (teluk), sehingga arus pasang surut keluar estuari (teluk) menuju laut, kondisi ini disebut dengan *ebb*. Sewaktu akan terjadi perubahan arah arus, terdapat suatu periode yang pendek dengan kecepatan arus adalah kecil atau nol dan kondisi ini disebut dengan *slack water*. Kecepatan arus maksimum pada saat pasang disebut dengan *flood strength* dan kecepatan maksimum pada saat surut disebut *ebb strength*. *Flood strength* dan *ebb strength* ini terjadi diantara dua *slack water* (Gambar 1).



Gambar 1. *Flood Figure 1Strength and ebb strength*

Flood strength dan *ebb strength* Di selat yang menghubungkan dua perairan, yang dipengaruhi pasang surut secara independen, tipe arus pasang surutnya adalah tipe hidrolik. Umumnya tinggi dan fasa pasang surut di kedua ujung selat adalah tidak sama. Beda fasa di kedua ujung selat menyebabkan arus pasang surut yang berasal dari dua perairan yang dihubungkan oleh selat tersebut bertemu di dalam selat.

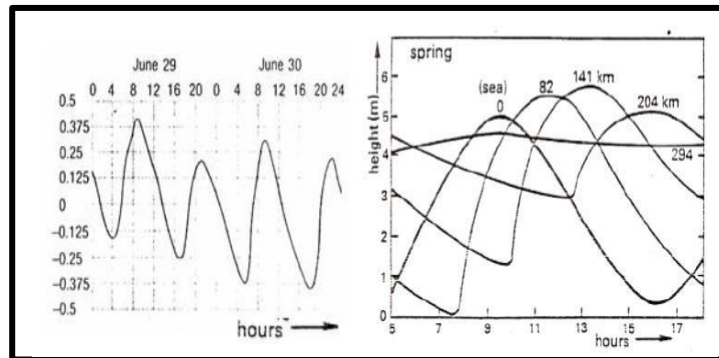
Umumnya amplitudo arus pasang surut sesuai dengan range dari pasang surut. Pada saat *spring tide* (pasang purnama) dan pada saat bulan paling dekat dengan bumi (*moon's perigee*) terjadi arus yang kuat, sementara pada saat *neap tide* dan pada saat bulan yang paling jauh dengan bumi (*moon's apogee*) terjadi arus yang lemah.

C.2. Arus Pasang Surut di Estuari

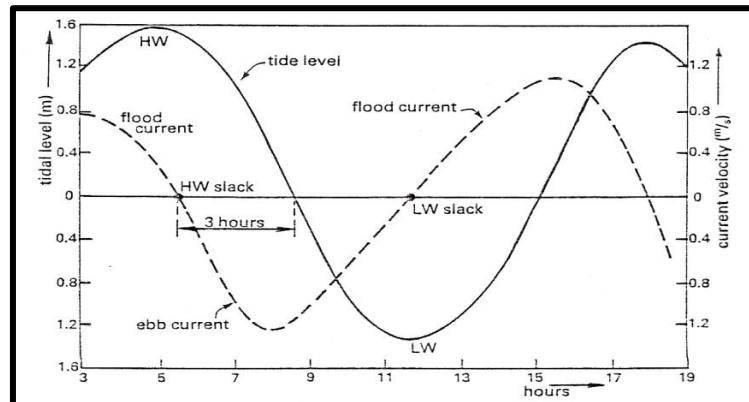
C.2.A Ketidaksimetrian dan Perbedaan Fasa

Pengaruh gesekan dasar dan debit sungai kurva pasang surut di estuari tidak lagi simetri seperti halnya di laut lepas, mengakibatkan *ebb* lebih lama daripada *flood*. Kecepatan penjalaran pasang surut ke dalam estuari bergantung pada kedalaman air. Jadi puncak gelombang (air tinggi) akan bergerak lebih cepat dari pada lembah gelombang (air rendah). Gelombang pasang surut bergerak lebih cepat saat pasang dari pada saat surut. Hal ini mengakibatkan terjadi ketidaksimetrian kurva pasang surut dengan interval diantara air tinggi (*high water*) dan air rendah (*low water*) berikutnya lebih lama dari pada interval antara air rendah dan air tinggi selanjutnya. Surut atau *ebb* lebih lama dari pada pasang atau *flood*. Debit sungai berperan dalam memperlambat (memperlama) surut dan mempercepat pasang.

Semakin masuk ke arah hulu kurva pasang surut semakin tidak simetri (Gambar 2).



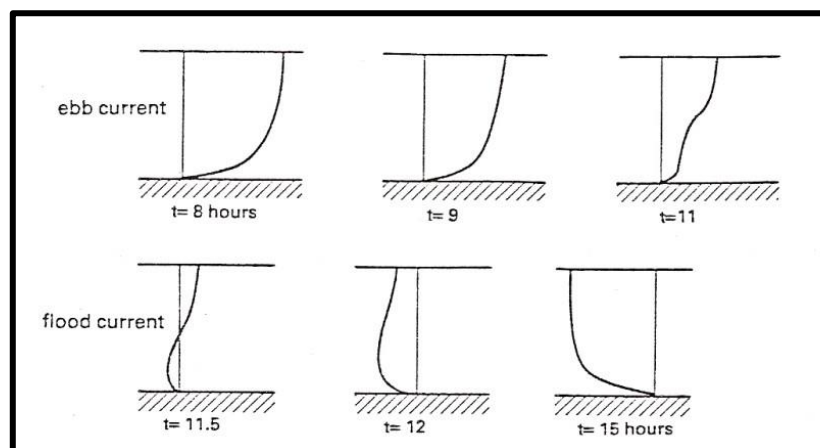
Gambar 2. Kurva pasang surut di Estuari Sungai Hudson (kiri), New York (Sumber: Park, 2005); Kurva pasang surut pada saat *spring* di Sungai Hooghly, India (kanan) (Sumber: van Rijn, 1990).



Gambar 3. Kurva perbedaan fasa diantara arus pasang surut dan elevasi muka air (Sumber: van Rijn, 1990).

Pengaruh gesekan dan debit sungai mengakibatkan perbedaan fasa antara pasang surut horizontal (arus pasang surut) dan pasang surut

vertikal (naik turunnya muka air). Arus pasang surut berubah arah lebih cepat (lebih dahulu) dari pada perubahan elevasi muka air (pasang surut). Di estuari Western Scheldt, Netherlands, terjadi perbedaan fasa selama 3 jam (Gambar 3). Efek gesekan dasar ini juga mengakibatkan perbedaan fasa arus dekat dasar dan arus dekat permukaan. Arus dekat dasar lebih dahulu berubah arah dari pada arus dekat permukaan terutama pada *low water slack* ketika air dangkal dan efek gesekan paling besar (Gambar 4).



Gambar 4. Perbedaan fasa diantara arus dekat dasar (Sumber: van Rijn, 1990)

Pada Gambar 4 terlihat bahwa pada saat surut (*ebb tide*) (jam 8 sampai dengan jam 11) aliran bergerak ke arah laut, kecepatan dekat dasar lebih kecil dari pada kecepatan dekat permukaan. Pada saat pasang (*flood tide*) (jam 11,5), di dekat permukaan aliran masih ke arah muara sementara di dekat dasar aliran sudah bergerak ke arah hulu. Fakta ini menunjukkan arus dekat dasar berubah arah lebih cepat

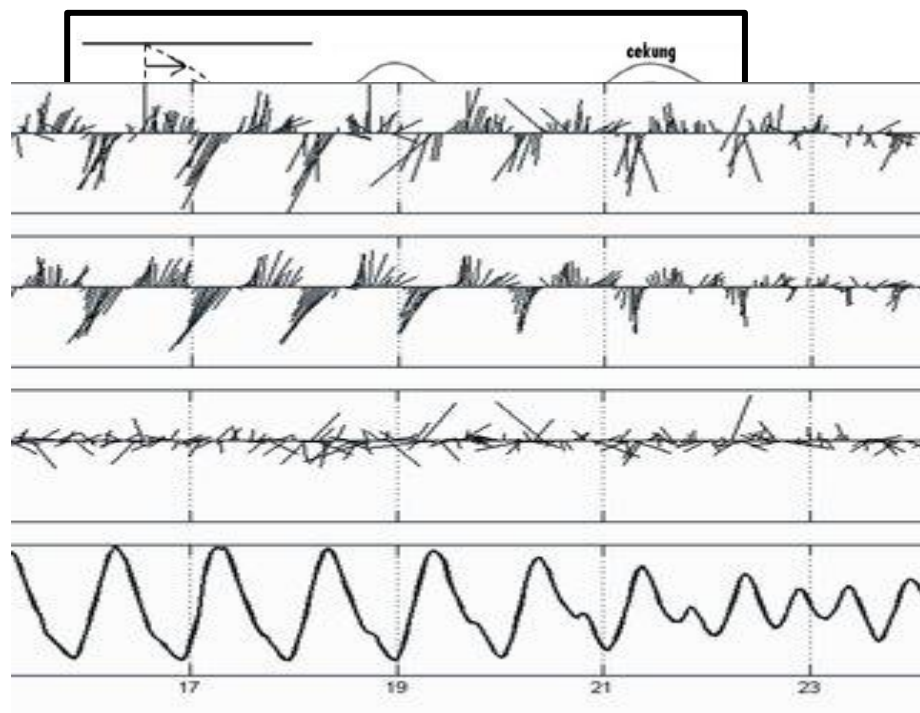
dari pada arus dekat permukaan. Bagaimana pengaruh gesekan dasar dapat mempercepat perubahan arah arus dekat dasar dibandingkan dengan arus dekat permukaan? Hal ini terjadi karena pengaruh gesekan arus dekat dasar lebih kecil dibandingkan arus dekat permukaan. Penjelasan lebih lengkap dapat dibaca dalam paragraf di bawah ini.

Gradien tekanan horizontal akibat perbedaan elevasi antara laut dan daerah hulu, konstan dari permukaan sampai dengan dasar. Hal ini mengakibatkan momentum horizontal ke arah laut yang lemah di dekat dasar lebih dahulu dikalahkan oleh gradien tekanan dari pada momentum horizontal yang lebih besar di dekat permukaan sehingga arus dekat dasar berubah arah ke arah hulu. Jadi perubahan arah arus yang lebih awal dekat dasar ini dimungkinkan karena kecepatan arus dekat dasar lemah sehingga momentum aliran ke arah muara lemah sementara gradien tekanan ke arah hulu cukup besar (muka air di laut lebih tinggi daripada di hulu) sehingga memaksa arus dekat dasar bergerak ke arah hulu. Di dekat permukaan, momentum aliran ke arah muara masih lebih kuat daripada gradien tekanan ke arah hulu sehingga aliran dekat permukaan masih bergerak ke arah muara. Pada jam 12 arus dekat permukaan mulai bergerak ke arah hulu (seluruh kolom air bergerak ke arah hulu). Jadi arus dekat dasar berubah arah $\frac{1}{2}$ jam lebih awal daripada arus dekat permukaan.

C.2.B Variasi Arus Pasang Surut di Estuari

Variasi arus pasang surut di estuari ada dua, yaitu:

1. Variasi dalam arah melintang Arus pasang surut bervariasi dalam arah melintang estuari. Kecepatan arus umumnya lebih besar dibagian tengah daripada bagian tepi tetapi untuk estuari yang berbelok-belok maka arus kuat terjadi dekat tepi yang cembung dan tepi yang cekung (Gambar 5). Secara rata-rata arus pasang surut berubah arah lebih cepat di daerah tepi estuari daripada dibagian tengahnya, dengan kecepatan arus lebih besar. Perbedaan $\frac{1}{2}$ jam sampai dengan 1 jam umum dijumpai. Perbedaan waktu ini bisa berubah oleh efek arus non pasang surut.



Gambar 5. Variasi kecepatan arus pasang surut dalam arah melintang.

2. Variasi dalam arah vertikal

Kecepatan arus dekat dasar lebih kecil daripada kecepatan arus dekat permukaan dan *flood* biasanya terjadi lebih awal di dekat dasar dibandingkan di dekat permukaan. Perbedaannya bisa mencapai 1–2 jam atau lebih kecil lagi, hal ini tergantung pada:

- Estuari
- Lokasi di estuari
- Debit sungai

C.3. Hubungan antara Waktu Arus Pasang Surut dan Waktu Pasang Surut

Di banyak tempat dimana keduanya, yaitu: arus pasang surut dan pasang surutnya semidiurnal terdapat hubungan yang jelas antara waktu arus pasang surut dan waktu air tinggi dan rendah. Di lokasi- lokasi dengan ketidaksamaan yang besar antara pasang surut dengan arus pasang surutnya atau bila tipe arus pasang surutnya berbeda dengan tipe pasang surutnya, maka hubungan antara waktu arus pasang surut dan waktu pasang surut tidak konstan. Untuk kasus seperti ini berbahaya untuk meramalkan waktu arus pasang surut dari waktu pasang surutnya.

Secara umum, *slack water* terjadi pada *high water* (HW) dan *low water* (LW) dan arus maksimum terjadi pada saat pasang dan surut, tetapi hal ini tidak terjadi di setiap tempat. Arus pasang surut yang mencapai maksimum dalam interval waktu antara LW dan HW disebut *flood current*,

sedangkan arus pasang mencapai maksimum dalam interval waktu HW dan LW disebut *ebb current*. Ilustrasi ini dapat dilihat pada Gambar 1.

C.4. Efek Arus Non Pasang Surut

Arus non pasang surut tidak merubah pola arus pasang surut. Pola arus berbentuk elips dan arus bolak-balik masih tetap terlihat walaupun dipengaruhi oleh arus non pasang surutnya. Tetapi arus non pasang surut merubah kecepatan arus pasang. Bila arus non pasang surut searah dengan arus pasang surutnya maka kecepatan arus akan bertambah sesuai dengan kekuatan arus non pasang surutnya. Sebaliknya bila arus non pasang surut berlawanan dengan arus pasang surut maka kecepatan arus pasang surutnya berkurang sesuai dengan kekuatan arus non pasang surutnya. Efek arus non-pasang surut:

1. Tidak merubah pola arus bentuk elips (*open ocean*) atau arus bolak-balik di estuari atau selat tidak berubah
2. Merubah kecepatan arus pasang surut. Bila arus non-pasang surut searah dengan arus pasang surut, arus pasang surutnya dipercepat. Bila arus non-pasang surut berlawanan arah dengan arus pasang surut, arus pasang surutnya diperlambat. Arus non-pasang surut tidak merubah pola arus pasang surut tapi merubah kecepatan arus pasang surut.

C.5. Persamaan Hidrodinamika

Dinamika pasang surut dan arus pasang surut dapat dipelajari dari persamaan hidrodinamika 2 dimensi (2D) atau 3 dimensi (3D). Berikut ini kita hanya membahas persamaan hidrodinamika 2D. Persamaan hidrodinamika 2D yang dirata-ratakan terhadap kedalaman tanpa memperhatikan gaya pembangkit pasang surut yang langsung, diberikan oleh:

Persamaan gerak:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial u}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial u}{\partial y} - f\bar{v} &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho(h + \zeta)} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial v}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial v}{\partial y} - f\bar{u} &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho(h + \zeta)}\end{aligned}\quad (2.1)$$

$$\text{Persamaan Kontinuitas: } \frac{\partial}{\partial x} [(h + \zeta)\bar{u}] + \frac{\partial}{\partial y} [(h + \zeta)\bar{v}] + \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad (2.2)$$

$$\text{Dengan ketentuan: } \frac{\partial}{\partial x} [(h + \zeta)\bar{u}] + \frac{\partial}{\partial y} [(h + \zeta)\bar{v}] + \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$

τ_{sx}, τ_{sy} adalah stres gesekan di permukaan (gesekan angin) dalam arah x dan y.

τ_{bx}, τ_{by} adalah stres gesekan dasar dalam arah x dan y.

Persamaan (2.1), (2.2), dan (2.3) adalah persamaan yang menyatakan gerak arus di suatu perairan yang dipengaruhi oleh angin dan pasang

surut. Dalam τ_{sx} mempelajari arus pasang surut kita dapat mengabaikan gesekan angin dan τ_{by} .

Gerak arus pasang surut hanya dipengaruhi oleh gesekan dasar.

Gesekan dasar dapat dihitung dari hubungan:

$$\tau_{bx} = k\rho\hat{U}_b u_b \quad (2.4)$$

$$\tau_{by} = k\rho\hat{U}_b v_b \quad (2.5)$$

Dengan $\hat{U}_b = \sqrt{u_b^2 + v_b^2}$ adalah magnitude kecepatan di dasar dan k adalah koefisien gesekan dasar yang besarnya $0,002 \hat{U}_b$ diukur diketinggian referensi standar, biasanya 1 m di atas dasar perairan.

Persamaan (2.1), (2.2) dan (2.3) adalah persamaan yang nonlinier karena mengandung suku-suku non linier :

1. suku konvektif,
2. suku gesekan dasar

Persamaan (2.1) dan (2.2) dapat dilinearkan dengan mengabaikan suku-suku konvektif dan melinierkan suku gesekan dasar.

$$\tau_{bx} = K\rho\bar{u}_b \quad (2.5a)$$

$$\tau_{by} = K\rho\bar{v}_b \quad (2.5b)$$

$$\text{Dengan ketentuan } K = Ak|u_b| \quad (2.5c)$$

(A = faktor satuan pengatur)

Karena elevasi muka air jauh lebih kecil daripada kedalaman air ζ (h) maka diabaikan terhadap h .

$$\zeta \ll h \rightarrow (h + \zeta) \approx h \quad (2.5d)$$

Persamaan hidrodinamika 2D yang dirata-ratakan terhadap kedalaman dan dilinierkan dinyatakan oleh:

Persamaan gerak:

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} - f = -g \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} - \frac{K}{h} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} - f \bar{u} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{K \bar{v}}{h} \quad (2.7)$$

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial}{\partial x}(h \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y}(h \bar{v}) = -\frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (2.8)$$

D. Gelombang Laut

Purba dan Pranowo, (2015) menjelaskan bahwa gelombang laut merupakan mekanisme naik turunnya permukaan air secara tegak lurus yang terjadi dalam waktu sesaat hingga mencapai keseimbangan. Gelombang hampir terjadi di setiap permukaan laut dan kolam air dimanapun baik dalam bentuk gelombang panjang (dalam bentuk arus). Gelombang ini dapat dibangkitkan oleh faktor luar dan internal. Faktor luar seperti angin dan gaya gravitasi bulan dan matahari, sedangkan dari faktor internal berasal dari gempa bumi (tsunami) dan perbedaan densitas. Tiga faktor yang menentukan karakteristik gelombang yang dibangkitkan oleh angin yaitu: (1) lama angin bertiup atau durasi angin, (2) kecepatan angin dan (3) fetch (jarak yang ditempuh oleh angin dari arah pembangkitan gelombang atau daerah

pembangkitan gelombang) (Baharuddin dkk., 2009 dalam Hadi dan Sugianto, 2012).

Selain itu aktifitas manusia dan rekayasa teknik dapat mengakibatkan gelombang seperti perubahan struktur pantai dan gerak kapal. Beberapa peneliti menyatakan bahwa gelombang adalah akibat “gangguan” terhadap kolom air dan sebagian lagi menyatakan bahwa gelombang dapat terjadi secara teratur jika diakibatkan oleh gejala pasang surut.

D.1. Karakteristik Gelombang Laut

Purba dan Pranowo, (2015) menjelaskan gelombang tidak berjalan linear dan merupakan superposisi dari banyak gelombang dimana kecepatan, tinggi, bentuk, dan perubahannya tidak teratur. Saat ini pendekatan yang paling memungkinkan adalah dengan menggunakan model matematika dan juga model fisik serta dengan pengukuran langsung. Akibat bentuknya yang tidak teratur, maka pendekatan gelombang dengan melihat keadaan gelombang pada kondisi sederhana. Secara teori, gelombang sederhana dapat diartikan sebagai berikut:

- 1) Bentuk gelombang adalah sinuoidal
- 2) Amplitudo gelombang sangat kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombang dan kedalaman air
- 3) Viskositas dan tegangan permukaan dapat diabaikan

4) Gaya Coriolis dan vortivitas, yang keduanya bergantung pada rotasi bumi dapat diabaikan pada skala lokal,

5) Kedalaman air seragam dan dasar air tidak ada perbedaan densitas yang besar,

6) Gelombang tidak didefleksi oleh daratan atau penghalang yang lain.

Untuk memulai memahami gelombang ada baiknya mengetahui beberapa istilah yang sering digunakan dalam pembelajaran gelombang antara lain:

1) Tinggi gelombang/*wave height* (H): jarak vertikal antara puncak dan lembah gelombang

2) Panjang gelombang/*wave length* (L): jarak mendatar antara dua puncak gelombang yang berurutan atau jarak mendatar antara 2 lembah,

3) Periode gelombang/*period* (T): waktu yang diperlukan oleh dua puncak atau dua lembah gelombang untuk melalui satu titik,

4) Frekuensi (f): jumlah puncak (atau jumlah lembah) yang melewati suatu titik tetap tiap detik,

5) *Steepness*: pembagian antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang (H/L).

D.2. Peramalan Gelombang Laut

Gelombang merupakan elemen utama yang berpengaruh dalam kegiatan penanganan pantai. Arah dan besaran gelombang datang merupakan hal yang sangat kompleks dimana masing-masing

gelombang mempunyai sifat-sifat berbeda, sehingga gelombang harus dianalisis secara statistik. Analisis statistik gelombang diperlukan untuk mendapatkan beberapa karakteristik gelombang seperti gelombang representatif (H_s), probabilitas kejadian gelombang, dan gelombang ekstrim (gelombang dengan periode ulang tertentu) untuk menentukan kondisi dari suatu pantai. Seri data gelombang diperoleh dengan melakukan pengukuran gelombang secara *real time* melalui penempatan alat ukur gelombang di lepas pantai. Kegiatan tersebut memerlukan biaya yang besar dan durasi waktu yang cukup panjang. Sehubungan dengan kondisi tersebut, maka kegiatan peramalan gelombang dari data angin merupakan solusi yang paling tepat untuk mendapatkan hasil kajian yang sempurna (Putra, 2013).

1. Analisis angin

Angin, seperti yang terdapat dalam penelitian Herucakra (2010), adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan, yaitu dari daerah dengan tekanan udara tinggi ke daerah dengan tekanan udara rendah. Perbedaan tekanan ini terjadi akibat adanya perbedaan temperatur.

2. Distribusi kecepatan angin

Pengukuran angin umumnya dilakukan di daratan, oleh karena itu perlu dilakukan konversi sehingga pengukuran angin seolah-olah dilakukan di laut. Data angin yang dipakai adalah data angin yang diukur pada ketinggian 10 meter di atas permukaan bumi dengan alasan bahwa pada ketinggian tersebut terjadi keseimbangan satuan pengukuran

(stabilitas netral), apabila angin tidak diukur pada ketinggian 10 meter maka perlu dilakukan koreksi dengan menggunakan koreksi sebagai berikut (Triatmojo, 1999):

$$U(10) = U(y) \left(\frac{10}{y} \right)^{1/7} \quad (2.9)$$

Dengan ketentuan

U = kecepatan angin.

$U(10)$ = kecepatan angin pada ketinggian 10 meter.

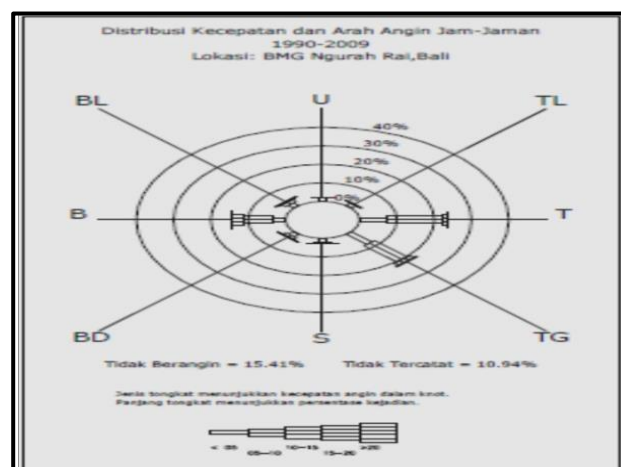
Y = elevasi terhadap tinggi muka air dengan nilai y lebih kecil dari 20 meter.

3. Konversi kecepatan angin

Data angin dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut (menggunakan kapal yang sedang berlayar) atau pengukuran di darat (di lapangan terbang) di dekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin laut. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dalam satuan *knot*. Satuan *knot* adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau $1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/h} = 0,5 \text{ m/dtk}$.

Data angin dicatat tiap jam dan biasanya disajikan dalam bentuk tabel. Dengan pencatatan angin jam–jaman tersebut dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin dan dapat pula dihitung kecepatan angin rerata harian. Data angin yang diperlukan merupakan hasil pengamatan beberapa tahun yang disajikan dalam bentuk tabel dengan jumlah data yang sangat besar.

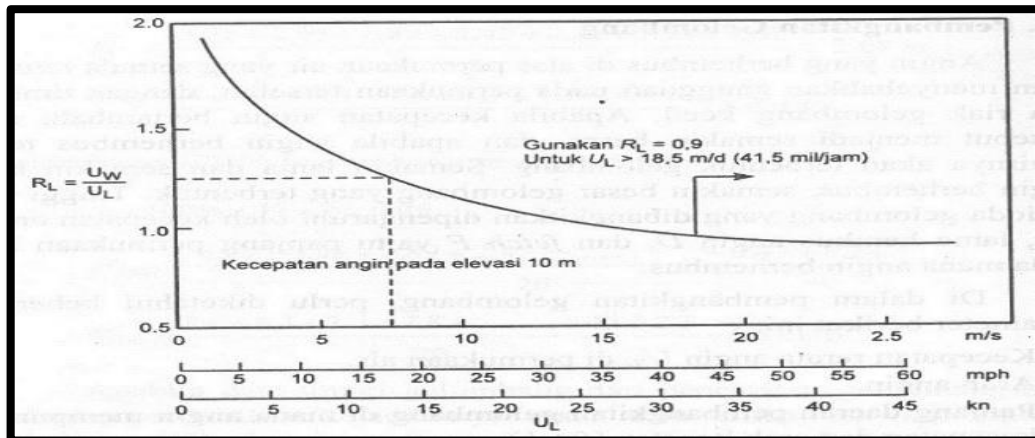
Kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk diagram yang disebut dengan mawar angin. Gambar 33 adalah contoh mawar angin yang dibuat berdasarkan pengolahan data angin yang tercatat oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang terdapat di sekitar daerah pantai yang direncanakan.



Gambar 6. *Windrose* 8 arah mata angin dari tahun 1990-2009 (Sumber: Hidayah, dkk., 2012).

Gambar tersebut menunjukkan presentase kejadian angin dengan kecepatan tertentu dari berbagai arah dalam periode waktu pencatatan. Dalam gambar tersebut garis-garis radial adalah arah angin dan tiap lingkaran menunjukkan presentase kejadian angin dalam periode waktu pengukuran. Biasanya pengukuran angin dilakukan di darat, oleh karena itu diperlukan transformasi/koreksi dari data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut.

Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 (*Coastal Engineering Research Center (CERC), 1984*).



Gambar 7. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat
(Sumber: *after* Resio dan Vincent, 1977b dalam CERC,1984).

Dengan memasukkan nilai kecepatan angin terkoreksi (U) pada Gambar 34, maka akan didapat R_L . Kecepatan angin harus dikonversikan menjadi faktor tegangan angin (U_A). Faktor tegangan angin berdasarkan kecepatan angin di laut (U_W), yang telah dikoreksi terhadap data kecepatan angin di darat (U_L). Rumus faktor tegangan angin berdasarkan kecepatan angin di laut adalah sebagai berikut

$$U_W = R_L \times U_L \quad (2.10)$$

Dengan ketentuan :

U_W : kecepatan angin di atas permukaan laut (m/dtk)

R_L : nilai yang diperoleh dari grafik hubungan antar kecepatan angin di darat dan laut

U_L : Kecepatan Angin di atas daratan (m/dtk)

Setelah dilakukan konversi kecepatan angin di atas, kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan Rumus berikut (CERC, 1984):

$$U_A = 0,71U^{1,23} \quad (2.11)$$

Dengan ketentuan :

U_a : faktor tegangan angin dalam m/dtk

U : kecepatan angin dalam m/dtk

4. Fetch

Fetch adalah jarak tanpa halangan di atas air dimana gelombang dibangkitkan oleh angin dan mempunyai arah dan kecepatan yang konstan. Di dalam peninjauan pembangkitan angin di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang dikelilingi laut (Gambar 8). Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin.

Fetch efektif diberikan oleh persamaan sebagai berikut (CERC,1984)

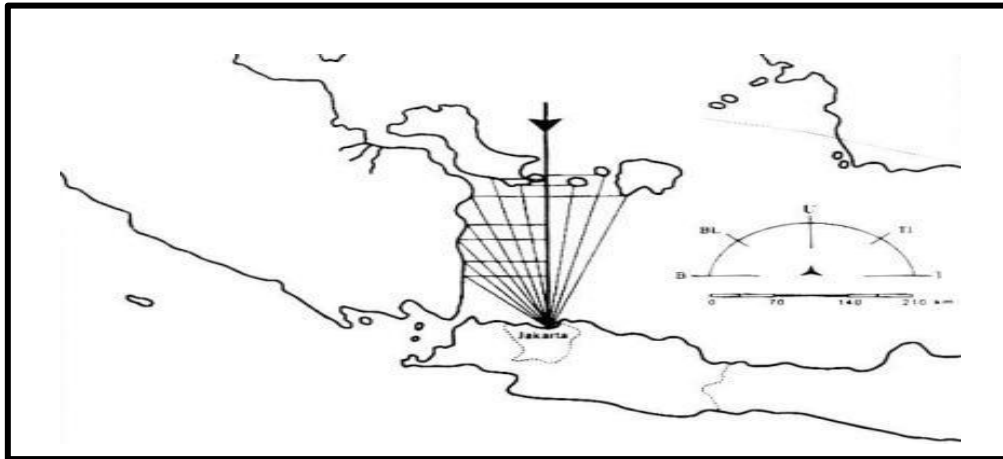
$$F_{eff} = \frac{\sum xi \cos a}{\sum \cos a} \quad (2.12)$$

Dengan ketentuan :

F_{eff} : *fetch* rerata efektif

Xi : Panjang Segmen Fetch yang di ukur dari titik observasi

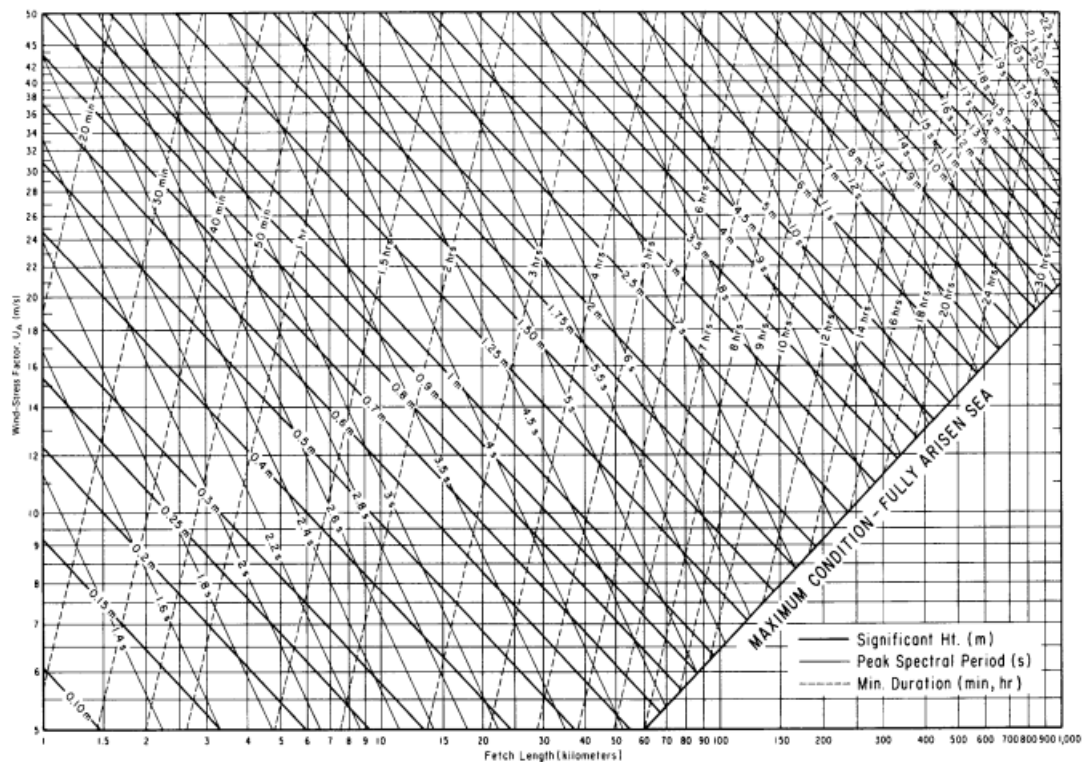
α : deviasi pada kedua sisi dari arah angin dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut terbesar 42° pada kedua sisi arah angin



Gambar 8. Contoh *fetch* (Sumber: Triadmodjo, 1999).

5. Peramalan gelombang di laut dalam

Peramalan gelombang di laut dalam dilakukan untuk dapat mengetahui tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) berdasarkan pada kecepatan angin, lama hembus angin, dan *fetch* dengan menggunakan grafik pada Gambar 9. Dari grafik tersebut apabila panjang *fetch* (F), faktor tegangan angin (U_A) dan durasi diketahui maka tinggi dan periode gelombang signifikan dapat dihitung.



Gambar 9. Nomogram peramalan gelombang (Sumber: CERC, 1984).

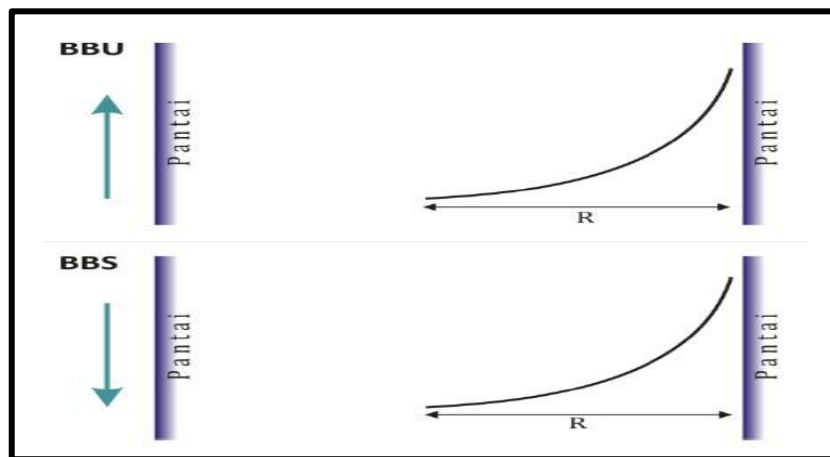
D.3. Persamaan Hidrodinamika

Gelombang pasang surut yang memasuki ke perairan pantai dan bergerak menyusur pantai akan mengalami perubahan amplitudo yang berkurang secara eksponensial ke arah lepas pantai. Gelombang pasang surut bergerak sedemikian rupa sehingga di BBU pantai berada di sebelah kanannya dan di BBS di sebelah kirinya. Gelombang pasang surut yang bergerak menyusur pantai (Gambar):

- Amplitudonya berkurang secara eksponensial ke arah lepas pantai
- Di BBU pantai (boundary) selalu di sebelah kanannya dan di BBS di sebelah kirinya. Gelombang pasang surut yang bergerak menyusur

pantai dengan karakteristik yang tersebut diatas disebut gelombang Kelvin. Amplitudo gelombang menjadi $1/e$ x amplitudo di pantai pada suatu jarak R dari pantai, R disebut jari-jari deformasi Rossby.

Jari-jari deformasi Rossby menyatakan dimensi minimum dari suatu perairan yang dapat merasakan efek Coriolis. Dimensi perairan $< R$ maka coriolis tidak dapat diabaikan. Dimensi perairan $> R$ maka coriolis dapat diabaikan.



Gambar 10. Arah penjalaran gelombang dan variasi amplitudo ke arah lepas pantai.

Persamaan Gelombang Kelvin:

Persamaan hidrodinamika gelombang pasang surut (gelombang pasang surut) di suatu perairan dengan kedalaman yang uniform (dalam ruang) dan tanpa gesekan diberikan oleh:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (2.13)$$

$$h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (2.14)$$

u dan v konstan terhadap kedalaman.

Disini kita meninjau gelombang pasang surut yang bergerak dalam Arah x saja, $v=0$. Dengan mengambil $v=0$, maka persamaan (2.12),

(2.13), dan (2.14) menjadi:
$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (2.15)$$

$$f u = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (2.16)$$

$$h \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) = - \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (2.17)$$

Eliminasi u dari persamaan (2.15) dan (2.17) kemudian turunkan persamaan (2.15) terhadap x dan persamaan (2.17) terhadap t dan kurangkan.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = -g \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = - \frac{1}{h} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2}$$

$$\frac{1}{h} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - g \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} = 0$$

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = gh \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} = 0$$

$$R = \frac{c}{f} = \frac{\sqrt{gh}}{f} \quad (2.18A)$$

Dengan ketentuan $c = \sqrt{gh}$ merupakan kecepatan fasa gelombang panjang. Dengan cara yang sama kita dapat mengeliminasi ζ^2 dari

persamaan (2.15) dan (2.17) dan diperoleh:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (2.18B)$$

Kemudian eliminasi ζ dari persamaan (2.16) dan (2.17), diperoleh:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t \partial y} - f \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (2.18C)$$

Solusi dari persamaan (4.15b) diberikan oleh:

$$u = Y(y)F(x \pm ct) \quad (2.19)$$

Dimana $Y(y)$ hanya fungsi dari y saja. Dengan mensubstitusikan (2.19) ke dalam (2.18c) kita dapat menentukan $Y(y)$ sehingga:

$$u = \frac{c}{h} A e^{\pm f y / c} F(x \pm ct), v = 0 \quad (2.20A)$$

$$\zeta = \pm A e^{\pm f y / c} F(x \pm ct) \quad (2.21)$$

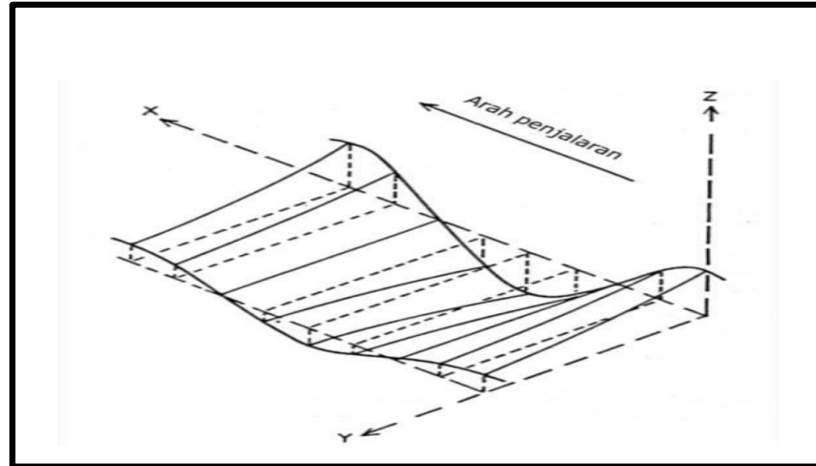
$A = \text{konstanta}$

Dari persamaan ini kita lihat gelombang pasang surut yang menyusur pantai (dalam arah x) amplitudonya berkurang secara eksponensial ke arah lepas pantai (arah y). Amplitudo maksimum ada di pantai dan akan berkurang secara eksponensial ke lepas pantai. Pantai selalu berbeda di sebelah kanan penjalaran gelombang (BBU) dan di sebelah kiri di BBS. Untuk kasus gelombang pasang surut yang menyusur pantai dalam arah utara selatan (arah y), kecepatan arus pasang surut dan elevasi gelombang diberikan oleh:

$$v = \frac{c}{h} A e^{\pm f y / c} F(y \pm ct), u = 0 \quad (2.21A)$$

$$\zeta = \pm A e^{\pm f y / c} F(y \pm ct) \quad (2.22B)$$

Representasi skematik dari gelombang Kelvin di BBU diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Gelombang Kelvin di BBU (Adaptasi: van Rijn, 1990).

Persamaan hidrodinamika gelombang pasang surut memasuki teluk dapat dinyatakan sebagai persamaan satu dimensi (dalam arah x).

Persamaan gerak:
$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (2.23)$$

Persamaan kontinuitas :
$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + h \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (2.24)$$

Persamaan (2.23) dan (2.24) diperoleh dari persamaan (2.12)-(2.13) dengan mengambil $v=0$ dan $f=0$. Gaya Coriolis diabaikan karena kita meninjau teluk yang sempit.

Syarat batas:

$$\begin{aligned} u &= U_o \sin \omega t & \text{di } x = l \text{ (di mulut)} \\ u &= 0 & \text{di } x = 0 \text{ (di head/ujung)} \end{aligned}$$

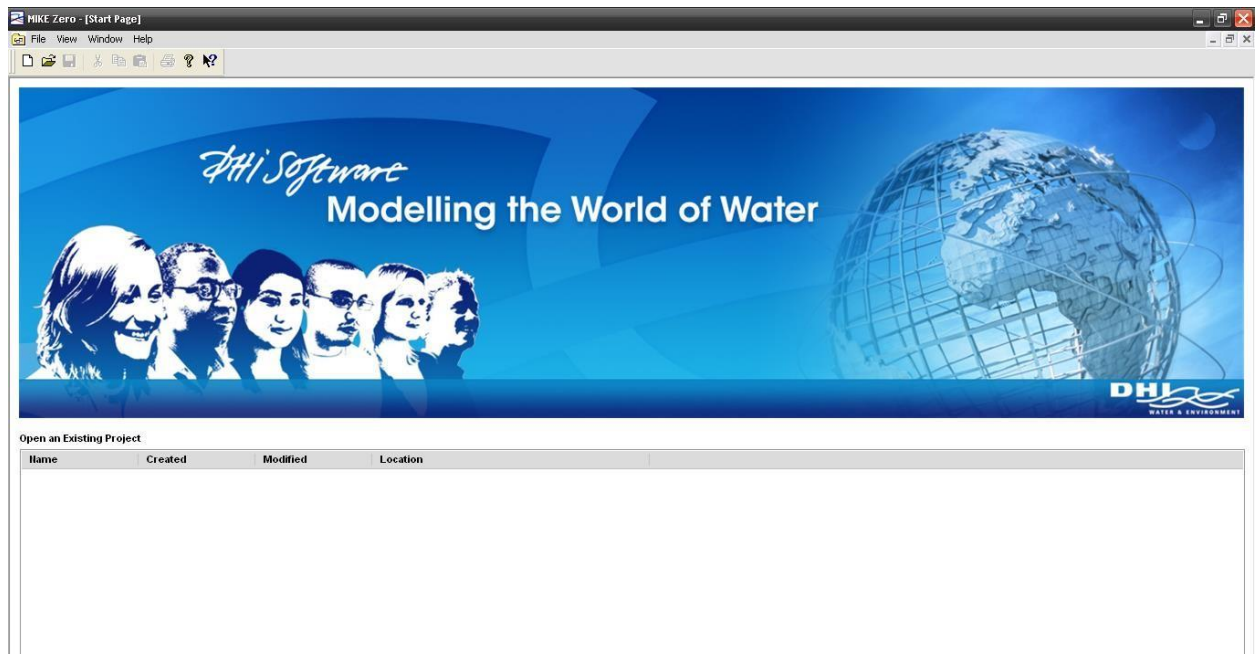
dengan ζ adalah amplitudo arus pasang surut.

Solusi persamaan (2.23) dan (2.24) diberikan oleh Yanagi, 1999:

$$\zeta(x, t) = \sqrt{\frac{h}{g} \frac{\cos kx}{\sin kl}} \cos wt \quad (2.25)$$

$$u(x, t) = \frac{\sin kx}{\sin kl} \sin wt \quad (2.26)$$

E. Software Mike 21



Gambar 12. Program DHI MIKE 21

DHI Mike merupakan salah satu perangkat lunak pemodelan hidrodinamika yang paling stabil dan lengkap. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh DHI (Danish Hydrodynamic Institute). Salah satu modul yang disediakan oleh DHI Mike adalah modul Spectral Wave (SW) yang merupakan modul pemodelan angin-gelombang (wind-wave) yang sangat canggih.

MIKE 21 HD merupakan sistem model numerik secara umum untuk memodelkan simulasi muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai. Model ini dapat mensimulasikan aliran dua dimensi tidak langgeng di dalam fluida satu lapisan (secara vertikal homogen) maupun dalam aliran tiga dimensi. Modul hidrodinamika Mike 21 (Mike 21 HD) merupakan modul dasar dalam program Mike 21 model aliran (*flow model*). Persamaan konversi massa dan momentum dapat ditulis dalam persamaan (DHI Software, 2007): persamaan dalam kasus 2D pada aliran perairan dangkal didapatkan persamaan berikut yang diselesaikan dalam koordinat kartesian:

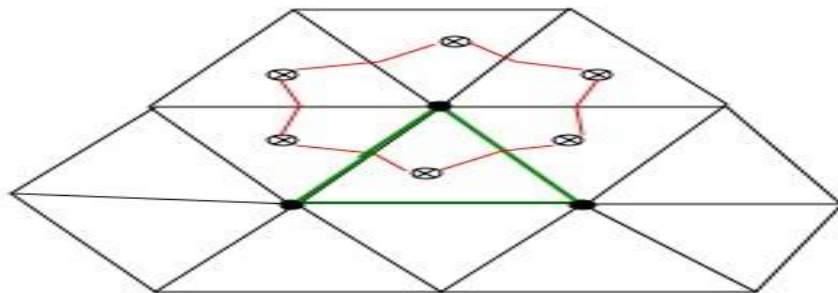
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = 0 \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = & F_{\bar{u}h} - gh \frac{\partial^n}{\partial x} - \frac{h}{\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_o} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_o} + \\ & \frac{1}{\rho_o} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) h u_s \frac{\partial h\bar{v}}{\partial} + u \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -F_{\bar{u}h} - \\ & gh \frac{\partial^n}{\partial y} - \frac{h}{\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_o} - \frac{\tau_{by}}{\rho_o} + \frac{1}{\rho_o} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \\ & \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) h v_s \end{aligned} \quad (2.28)$$

Dimana U_a pada penyelesaiannya mengindikasikan nilai dari kedalaman rata – rata, dimana $\vec{UV}$ adalah kecepatan pada kedalaman rata –rata yang diberikan oleh :

$$h\bar{u} = \int_{-d}^n u dz, \quad h\bar{v} = \int_{-d}^n v dz \quad (2.29)$$

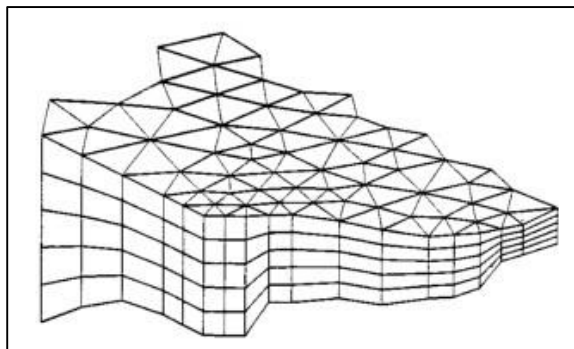
Penyelesaian dilaksanakan pada penerapan sistem koordinat kartesian dan *sigma* pada penyelesaian 2D/3D. Diskritasi persamaan dasar menggunakan sebuah *cell centered finite volume method* (Gambar 13).



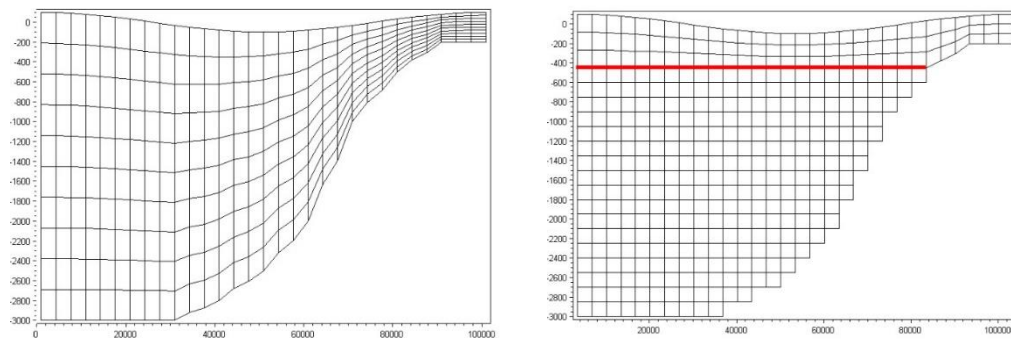
Gambar 13. Ilustrasi *unstructured triangular mesh* dengan *cell-centered*
Node • : H, z, w, D, s, q, q2, q2l, Am, Kh; Centroid × : u, v

(Sumber : Chen *et. al*, 2006)

Pada penyelesaian kasus 2D elemen yang digunakan merupakan bentuk segitiga tidak teratur, pada penyelesaian kasus 3D untuk penyelesaian horizontal menggunakan grid segitiga tidak berstruktur dan penyelesaian vertikal mesh dibentuk sistem koordinat sigma atau kombinasi antara kordinat sigma dengan kordinat $-z$.

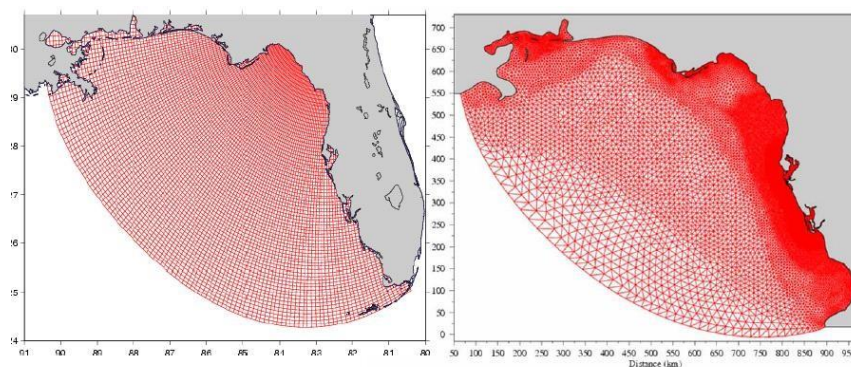


Gambar 14. Prinsip bentuk *mesh* pada kasus 2D/3D (sumber : DHI Water and Enviroment, 2012)

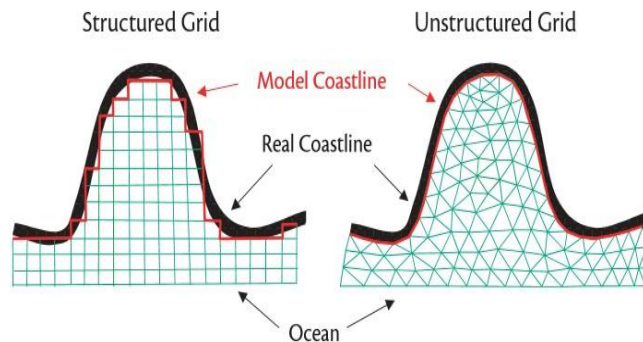


Gambar 15. Ilustrasi perbedaan bentuk grid vertikal pada koordinat sigma dan kombinasi koordinat sigma dan $-z$, konfigurasi dengan koordinat sigma dapat mempresentasikan batimetri (Sumber : DHI Water and Enviroment, 2012)

Potensi keuntungan model 3D dengan konfigurasi koordinat sigma adalah kemampuan akurat dalam mempresentasikan batimetri dan resolusi dekat dengan dasar, namun masih memiliki kemungkinan menghasilkan *error* dari aliran yang tidak riil. Pada koordinat $-z$ kelemahannya adalah ketidakakuratan dalam merepresentasikan batimetri namun kemudahan dalam mengkalkulasi perubahan tekanan horizontal.



Gambar 16. Konfigurasi desain pesisir pada sistem grid teratur (POM) dan sistem grid segitiga tidak teratur (FVCOM) (Sumber : Chen *et. al*, 2006)



Gambar 17. Ilustrasi perbedaan bentuk *mesh* pada penyelesaian numerik 2D, konfigurasi *unstructured triangular mesh* dapat mempresentasikan garis pantai (Sumber : Chen *et. al*, 2006)

Bentuk *mesh* 2D juga memiliki penyelesaian dengan masing masing keuntungan tersendiri, penggunaan *unstructured triangular mesh* akan memberikan representasi garis pantai yang lebih akurat, namun sering terjadi eror dengan timbulnya bias aliran yang tidak rill. Hasilnya bias menjadi aplikasi batas yang tidak slip, dan masalah dengan cairan sepanjang lereng pantai. Dengan menyelesaikan mesh masalah ini dapat diselesaikan (Marshall, 1998)

Daerah spasial didiskritasi menjadi beberapa bagian yang kontinyu dan tidak tumpang tindih dari masing – masing elemen. Bidang horizontal *unstructured triangular mesh* terdiri dari elemen segitiga untuk integrasi waktu pada skema eksplisit. (DHI Water and Enviroment, 2012)

Penggunaan grid teratur tidak dapat merepresentasikan bentuk garis pantai secara akurat, namun kemudahan dalam kalkulasi dalam perhitungan.(Chen *etal*,2006)