

STUDI PARAMETER OSEANOGRAFI FISIK PERAIRAN PULAU DERAWAN**Muhamad Roem¹⁾, Asbar Laga²⁾, Ika Listina³⁾, Indrawati Rukmana³⁾, Kiki Astriani³⁾**^{1,2)} *Staf Pengajar Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan*³⁾ *Mahasiswa Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan,
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Borneo Tarakan,
Jl. Amal Lama No.1, Tarakan. Kalimantan Utara. 77123.*¹⁾*E-mail: muhamad.roem@gmail.com***ABSTRACT**

A study on waves, tides and tidal currents has been done to understanding the oceanography characters of Derawan Island. Wave modeling done by the approach hindcasting methods. Derawan tidal was analyzed with admiralty method to determine the tidal constituent. Tidal currents has been studied with the plot stick approach. In general, our results show that the largest waves probability come from the northeast with a wave height between 1-4 m. Derawan tidal type are mixed with the mean seal level values at 224 cm.

Key words : Derawan, Oseanography, Wave, Tidal Current.

PENDAHULUAN**Latar belakang**

Pulau Derawan merupakan salah satu destinasi wisata bahari yang belakangan memiliki trend peningkatan kunjungan wisatawan dalam beberapa tahun terakhir. Di sisi lain kejadian kecelakaan yang menyebabkan cacat maupun kematian juga menunjukkan trend berbanding lurus dengan peningkatan kunjungan wisatawan. Salah satu faktor yang menyebabkan sekaligus mempengaruhi kejadian kecelakaan adalah faktor kondisi hidrooseanografi perairan dalam hal ini gelombang, pasang surut, dan arus. Pengetahuan akan kondisi dan pola dinamika hidrooseanografi perairan diharapkan dapat membantu pengelolaan kawasan dan pengelolaan wisatawan yang lebih baik.

Gelombang yang umumnya ditelaah adalah gelombang terbangkit angin dan pasang surut. Gelombang terbangkit angin mentransfer energy angin melalui partikel air berdasarkan arah hembusan angin. Mekanisme transfer energi tersebut terdiri dari dua bentuk yakni pertama: variasi

tekanan angin pada permukaan air yang diikuti oleh pergerakan gelombang dan kedua transfer momentum dan energi dari gelombang frekuensi tinggi ke gelombang frekuensi rendah (periode tinggi dan panjang gelombang besar). Hembusan angin yang kontinyu akan membangkitkan gelombang frekuensi tinggi. Karakteristik gelombang terbangkit angin ditentukan oleh factor-faktor berikut yaitu : (1) durasi lama angin bertiup dengan kecepatan konstan, (2) kecepatan angin dan (3) fetch (panjang jarak tanpa penghalang dilaut yang menjadi medan pembangkitan gelombang). Sehingga semakin lama angin bertiup, semakin besar jumlah energi yang dapat dihasilkan dalam pembangkitan gelombang. Demikian halnya dengan panjang fetch, gelombang yang bergerak keluar dari medan pembangkitan gelombang hanya memperoleh sedikit tambahan energi.

Gelombang yang merambat dari perairan dalam menuju ke perairan dangkal (pantai) akan mengalami transformasi dari sifat dan parameter gelombang seperti proses refraksi, shoaling, refleksi maupun difraksi akibat pengaruh karakteristik dan

bentuk pantai. Menurut Triatmodjo (1999) pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sehingga mampu mereduksi energi gelombang yang datang. Penyesuaian bentuk tersebut merupakan respon dinamis alami pantai terhadap laut. Ada dua tipe respon dinamis pantai terhadap gerak gelombang, yaitu respon terhadap kondisi gelombang normal dan respon terhadap kondisi gelombang badai.

Pasang surut merupakan fenomena fluktuasi muka laut yang diakibatkan oleh perubahan kedudukan bulan dan matahari terhadap bumi menurut fungsi waktu. Pengetahuan tentang pasang surut suatu perairan sangat diperlukan untuk berbagai keperluan semisal aktifitas transportasi laut, pembangunan struktur bangunan pantai, kegiatan pelabuhan, maupun aktifitas penangkapan ikan oleh nelayan.

Perubahan tinggi muka air pada suatu perairan menyebabkan pergeseran massa air. Hal inilah yang kemudian dikenal sebagai arus pasang surut atau pergerakan massa air yang dipicu oleh pergeseran fase pasang surut. Oleh karena pasang surut memiliki pola perulangan yang harmonis, maka pola arus pasang surut yang mengikuti pola

pembangkitnya pun juga dapat dipelajari. Hal ini akan membantu dalam mengkaji pola distribusi materi-materi yang terkandung di dalam kolom air.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk

1. Mengetahui tinggi gelombang signifikan pada perairan Pulau Derawan
2. Mengetahui konstanta harmonis pasang surut pada perairan Pulau Derawan
3. Mengetahui tipe pasang surut pada perairan Pulau Derawan
4. Mengetahui pola pergerakan arus pasang surut pada perairan Pulau Derawan

METODE PENELITIAN

Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Januari sampai dengan Februari 2016 di Pulau Derawan. Pengambilan data pasang surut berlangsung selama 15 hari 15 malam untuk mendapatkan data pasang surut. Bersamaan dengan pengambilan data pasang surut juga dilakukan pengamatan arus setiap jam selama 10 hari.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

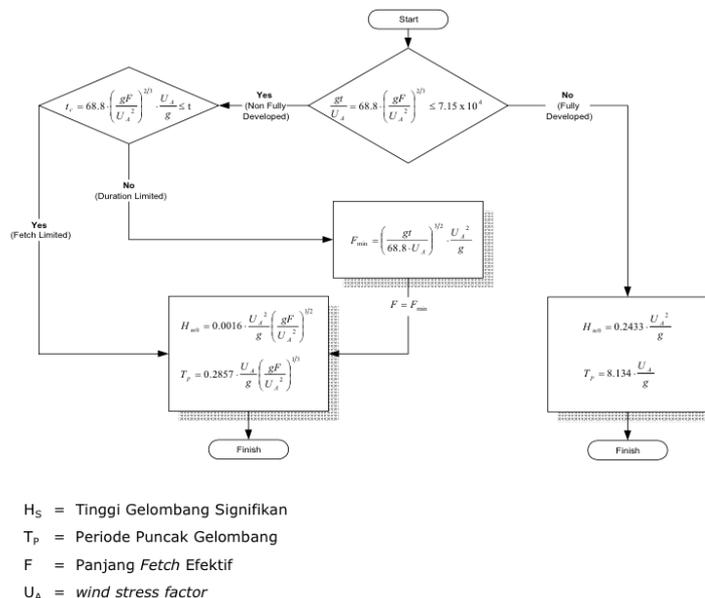
Adapun pengambilan data arus pasang dan arus surut diambil dari 4 titik berbeda di perairan Pulau Derawan pada waktu yang bersamaan. Pengambilan data gelombang representatif untuk perhitungan tinggi gelombang signifikan dilakukan pada pagi dan sore hari selama 5 hari. Sementara itu model data gelombang terbangkit angin di analisa berdasarkan data distribusi arah dan kecepatan angin yang terekam pada stasiun meteorologi Bandar Udara Kalimantan Kabupaten Berau.

Prosedur Penelitian Gelombang

Pada penelitian ini terdapat dua model analisa gelombang berbeda yang digunakan yakni; (1) metode *hindcasting*, dan (2)

metode perhitungan tinggi gelombang signifikan. *Hindcasting*, merupakan sebuah metode dimana gelombang terbangkit angin merupakan hasil model yang dianalisa berdasarkan data distribusi arah dan kecepatan angin dari tahun 2010 hingga 2015 yang tercatat di stasiun meteorologi Bandar Udara Kalimantan Kabupaten Berau. Sedangkan perhitungan tinggi gelombang signifikan dihasilkan dari data pengamatan di lapangan yang berupa gelombang pagi dan gelombang sore. Pengamatan gelombang pagi dan sore dilakukan dengan bantuan tiang skala.

Secara konseptual diagram proses perhitungan beserta persamaan yang digunakan dalam proses peggolahan data gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. diagram alir proses pengolahan data gelombang berdasarkan data angina

Perhitungan fetch efektif

Untuk melakukan perhitungan fetch di suatu perairan diperlukan peta perairan lokasi dan sekitarnya. Fetch adalah daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan. Adanya kenyataan bahwa angin bertiup dalam arah yang bervariasi atau sembarang, maka panjang fetch diukur dari titik pengamatan dengan interval 5°.

Panjang *fetch* efektif dihitung berdasarkan prosedur sebagai berikut; (1) Menarik garis fetch dengan penyimpangan

sebesar 5° dan -5° dari suatu arah sampai pada suatu batas areal yang lain. Pengambilan nilai 5° ini dilakukan mengingat adanya kenyataan bahwa angin bertiup dalam arah yang bervariasi atau sembarang, maka panjang fetch diukur dari titik pengamatan dengan interval 5°. Mengukur panjang *fetch* tersebut sampai menyentuh daratan terdekat. Panjang *fetch* efektif dihitung untuk 8 (delapan) arah mata angin dan ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^k Lf_i \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^k \cos \alpha_i}$$

dimana;

Lfi : Panjang fetch ke i

α_i : Sudut fetch ke i

I : Jumlah fetch

Perhitungan windstress factor

Wind stress factor merupakan data kecepatan angin yang dimodifikasi. Sebelum merubah kecepatan angin menjadi wind stress factor, koreksi dan konversi terhadap data kecepatan angin perlu dilakukan. Berikut ini merupakan koreksi dan konversi yang perlu dilakukan pada data kecepatan angin untuk mendapatkan nilai wind stress factor.

1. Koreksi ketinggian

Wind stress factor dihitung dari kecepatan angin yang diukur dari ketinggian 10 m di atas permukaan. Bila data angin yang diperoleh nantinya tidak diukur pada ketinggian ini, maka koreksi perlu dilakukan guna memperoleh wind stress factor yang tepat.

2. Koreksi durasi

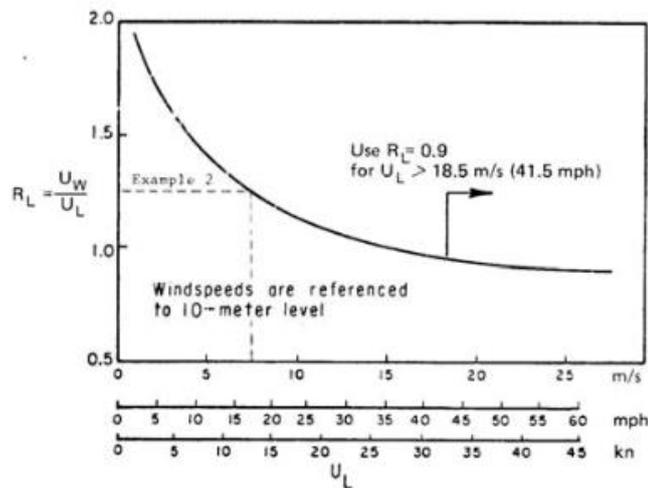
Data angin yang tersedia biasanya tidak disebutkan durasinya atau merupakan data hasil pengamatan sesaat. Kondisi sebenarnya kecepatan angin adalah selalu berubah- ubah meskipun pada arah yang sama. Untuk melakukan peramalan gelombang diperlukan juga durasi angin bertiup, dimana selama dalam durasi tersebut dianggap kecepatan angin adalah konstan. Oleh karena itu, koreksi durasi ini dilakukan untuk nmendapatkan kecepatan angin rata-rata selama durasi angin bertiup diinginkan.

3. Koreksi stabilitas

Koreksi stabilitas ini berkaitan dengan perbedaan temperatur udara tempat bertiupnya angin dan air tempat terbentuknya gelombang.

4. Koreksi efek lokasi

Koreksi ini diperlukan bila data angin yang diperoleh berasal dari stasiun darat, bukan diukur langsung di atas permukaan laut, ataupun di tepi pantai. Untuk merubah kecepatan angin yang bertiup di atas daratan menjadi kecepatan angin yang bertiup di atas air, digunakan grafik berikut:



(after Resio & Vincent, 1977b)

Gambar 3. Grafik bantu untuk koreksi efek lokasi

5. Konversi ke wind stress factor

Setelah koreksi dan konversi kecepatan di atas dilakukan, tahap selanjutnya adalah mengkonversi kecepatan angin

tersebut menjadi wind stress factor, dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$U = 0.71U^{1.23}$$

ket:

UA : Wind stress factor (m/s)

U : Kecepatan angin (m/s)

Peramalan tinggi dan periode gelombang

Pembentukan gelombang di laut dalam dianalisis dengan formula-formula empiris yang diturunkan dari model parametrik berdasarkan spektrum gelombang JONSWAP (*Shore Protection Manual*, 1984). Prosedur peramalan tersebut berlaku baik untuk kondisi fetch terbatas (*fetch limited condition*) maupun kondisi durasi terbatas (*duration limited condition*) sebagai berikut:

$$\frac{gH_{m_0}}{U_A^2} = 0.0016 \left(\frac{gF_{eff}}{U_A^2} \right)^{1/2}$$

$$\frac{gT_p}{U_A^2} = 0.2857 \left(\frac{gF_{eff}}{U_A^2} \right)^{1/3}$$

$$\frac{gt_d}{U_A} = 68.8 \left(\frac{gF_{eff}}{U_A^2} \right)^{2/3}$$

Dalam persamaan tersebut, UA = 0.71U^{1.23} adalah faktor tekanan angin (*wind stress factor*), dimana UA dan U₁₀ dalam m/detik. Hubungan antara Tp dan Ts diberikan sebagai Ts = 0.95 Tp.

Persamaan tersebut di atas hanya berlaku hingga kondisi gelombang telah terbentuk penuh (*fully developed sea condition*), sehingga tinggi dan perioda gelombang yang dihitung harus dibatasi dengan persamaan empiris berikut :

$$\frac{gH_{m_0}}{U_A^2} = 0.243$$

$$\frac{gT_p}{U_A} = 8.13$$

$$\frac{gt_d}{U_A} = 7.15 \times 10^4$$

dimana:

H_{m0} = tinggi gelombang signifikan menurut energi spektral.

Tp = perioda puncak gelombang.

Td = durasi angin bertiup (detik)

F_{eff} = panjang *fetch* efektif (m)

g = percepatan gravitasi bumi (9.81 m/s²)

UA = wind stress factor (m/s)

Adapun prosedur peramalan gelombang adalah sebagai berikut Analisis perbandingan pada persamaan berikut ini :

$$\frac{gt_d}{U_A} = 68.8 \left(\frac{gF_{eff}}{U_A^2} \right)^{2/3} \leq 7.15 \times 10^4$$

Jika tidak memenuhi persamaan tersebut maka gelombang yang terjadi merupakan hasil pembentukan gelombang sempurna. Perhitungan tinggi dan perioda gelombangnya menggunakan persamaan berikut

$$H_{m_0} = \frac{0.2433 \times U_A^2}{g}$$

$$T_p = \frac{8.314 \times U_A}{g}$$

Jika hasil analisa perbandingan memenuhi persamaan diatas ,maka gelombang yang terjadi merupakan hasil pembentukan gelombang yang tidak sempurna. Pembentukan gelombang tidak sempurna ini ada 2 (dua) jenis yaitu pembentukan gelombang terbatas *fetch limited* dan terbatas durasi (*duration limited*), untuk membedakannya perlu dihitung terlebih dahulu durasi kritis (tc) sebagai berikut.

$$t_c = \frac{68.8 \times U_A}{g} \left(\frac{g \times F_{eff}}{U_A^2} \right)^{2/3}$$

Data Arah dan Kecepatan Angin diolah dengan menghitung persentase kejadian angin selama 5 tahun, dan disajikan dalam bentuk table dan diagram windrose.

Pasang Surut

Data pasang surut diamati selama 15 hari 15 malam dengan bantuan tiang skala dengan resolusi ketelitian 1 cm. Tiang skala ditempatkan pada lokasi yang berada di bawah muka air pada saat surut terendah sehingga pada saat surut terendah tiang skala masih menunjukkan angka pengamatan. Pencatatan data pasang surut dilakukan

setiap jam selama interval waktu pengamatan. Data pasang surut ditabulasi kedalam tabel untuk memudahkan perhitungan. Data-data hasil pengamatan pasang surut disusun dalam tabel kedudukan tinggi air laut (dalam satuan sentimeter) tiap jam (24 jam) untuk 15 hari pengamatan dan sudah terkoreksi selanjutnya siap untuk dilakukan analisis.

Perhitungan dengan metode Admiralty, yaitu hitungan untuk mencari harga amplitudo (A) dan beda fase (g^0) dari data pengamatan selama 15 piantan (hari pengamatan) dan *mean sea level* (S_0) yang sudah terkoreksi. Secara skematik, perhitungan dengan metode Admiralty melalui beberapa tahapan. Adapun tahapan perhitungan tersebut menggunakan delapan kelompok hitungan (skema) dengan bantuan tabel-tabel dari perhitungan metode Admiralty. Secara garis besar hitungan dengan menggunakan metode Admiralty adalah sebagai berikut:

1. Kelompok hitungan 1
Pada hitungan kelompok ini ditentukan pertengahan pengamatan, bacaan tertinggi dan terendah. Bacaan tertinggi menunjukkan kedudukan alat tertinggi dan bacaan terendah menunjukkan alat terendah
2. Kelompok hitungan 2
Ditentukan bacaan positif (+) dan negatif (-) untuk kolom X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_4 dan Y_4 dalam setiap hari pengamatan.
3. Kelompok hitungan 3
Pengisian kolom $X_0, X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_4$ dan Y_4 dalam setiap hari pengamatan. Kolom X_0 berisi perhitungan mendatar dari hitungan X_1 pada kelompok hitungan 2 tanpa memperhatikan tanda (+) dan (-). Kolom X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_4 dan Y_4 merupakan penjumlahan mendatar dari X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_4 dan Y_4 pada kelompok hitungan 2 dengan memperhatikan tanda (+) dan (-) harus ditambah dengan besaran B (B kelipatan 100)
4. Kelompok hitungan 4
Untuk pengamatan 15 piantan, besaran yang telah ditambah B dapat ditentukan dan

selanjutnya menghitung X_{00}, Y_{00} sampai dengan X_{4d}, Y_{4d} dimana:

Indeks $_{00}$ untuk X berarti X_{00}

Indeks $_{00}$ untuk Y berarti Y_{00}

Indeks $_{4d}$ untuk X berarti X_{4d}

Indeks $_{4d}$ untuk Y berarti Y_{4d}

5. Kelompok hitungan 5

Perhitungan pada kelompok ini sudah memperhatikan sembilan unsur utama pembangkit pasang surut ($M_2, S_2, K_2, N_2, K_1, O_1, P_1, M_4$ dan MS_4). Untuk perhitungan kelompok hitungan 5 mencari nilai X_{00}, X_{10} , selisih X_{12} dan Y_{1b} , selisih X_{13} dan Y_{1c} , X_{20} , selisih X_{22} dan Y_{2b} , selisih X_{23} dan Y_{2c} , selisih X_{42} dan Y_{4b} dan selisih X_{44} dan Y_{4d} . Untuk perhitungan kelompok hitungan 6 mencari nilai Y_{10} , jumlah Y_{12} dan X_{1b} , jumlah Y_{13} dan X_{1c} , Y_{20} , jumlah Y_{22} dan X_{2b} , jumlah Y_{23} dan X_{2c} , jumlah Y_{42} dan X_{4d} dan jumlah Y_{44} dan X_{4d} .

6. Kelompok hitungan 7 dan 8

Menentukan besarnya P.R cos r, P.R sin r, menentukan besaran p, besaran f, menentukan harga V', V'', V''' dan V untuk tiap unsur utama pembangkit pasang surut ($M_2, S_2, K_2, N_2, K_1, O_1, P_1, M_4$ dan MS_4), menentukan harga u dan harga p serta harga r.

Dari besaran amplitudo (A) dan beda fase (g^0) konstanta harmonik pasang surut air laut yang diperoleh, dapat dianalisis tipe pasang surutnya dengan menghitung nilai F (Bilangan Formzal), dengan persamaan berikut :

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2}$$

Arus Pasang Surut

Bersamaan dengan pengambilan data pasang surut juga dilakukan pengamatan arus setiap jam selama 10 hari berturut-turut. Pengamatan bertujuan untuk melihat pergeseran arah dan kecepatan arus dalam interval pengamatan yang konstan. Selain itu pemetaan arus secara spasio-temporal juga membutuhkan prediksi interval waktu dimana arus menuju pasang maupun arus menuju surut berada dalam kecepatan yang optimal. Adapun pengambilan data arus

pasang dan arus surut diambil dari 4 titik berbeda di perairan Pulau Derawan pada interval waktu yang bersamaan. Pengolahan data arus pasang surut ini dengan bantuan perangkat lunak surfer 13.

Data hasil pengukuran lapangan selanjutnya diolah untuk membuat peta pola arus dengan langkah-langkah berikut:

1. Data hasil pengukuran di tabulasikan ke dalam excel dengan sheet yang berbeda antara kecepatan arus dan arah arus. Pada kolom A berisi titik koordinat longitude, pada kolom B titik kordinat latitude, dan kolom C berisi hasil perhitungan kecepatan arus/arah arus yang telah di analisa.
2. Masukan dengan membukan data excel tersebut kedalam program surfer 8. Susun data dalam format .bln dalam worksheet dimana arus (atau arah/sudut) dijadikan satu file .bln dan arus (atau kecepatan) dijadikan satu file.bln pada surfer 8
3. Setelah itu Grid kedua data kecepatan arus dan arah arah arus data yang selanjutnya memilih 2-grid vector setelah itu akan tampil hasil pengukuran arus dan dapat terlihat arus terkuat dan terlemah yang teramati pada lokasi yang telah ditentukan.
4. Kemudian masukkan base map peta Pulau Derawan (open file Pulau Derawan.shp) yang di peroleh dari googel earth setelah itu mengedit peta arus sesuai dengan syarat pembuatan peta.

Guna mengetahui pola pergeseran arah dan kecepatan arus selama interval waktu tertentu pada suatu titik acuan, maka dilakukan pengolahan data stick plot arus.

Tabel 1. Tinggi dan periode

No.	Waktu	Parameter	H (meter)	T (Detik)
1	Pagi	Signifikansi	0.22	10.3
		Rerata	0.2	10.8
		Maksimum	0.24	17.5
		Minimum	0.17	8.3
2	Sore	Signifikansi	0.2	12.11
		Rerata	0.17	10.84
		Maksimum	0.23	17.48
		Minimum	0.12	8.26

Adapun langkah-langkah pembuatan Stick Plot:

1. Data hasil pengukuran di tabulasikan ke dalam excel dengan kolom A berisi titik koordinat longitude, pada kolom B titik kordinat latitude, dan kolom C berisi hasil perhitungan kecepatan arus dan kolom D berisi arah arus yang telah di analisa
2. Masukan dengan membukan data excel tersebut kedalam program surfer 8. Susun data dan simpan dalam bentuk .bln, setelah itu grid data stick plot.bln dengan mengubah data C dengan Data COLUMNS D dan mengubah spacing data X dan Y menjadi 1 lalu menyimpan file.
3. Setelah itu petakan arusnya seperti langkah 3 pada pembuatan peta arus sebelumnya, namun data yang diinput adalah hasil grid stick plot arah dan kecepatan arus. Maka di hasilkan peta stik plot arah dan kecepatan arusnya.

Kemudian editing stick plot dengan mengklik properties pada vector dan ubah bagian Frequency Y menjadi 10 (kotak hitam), kemudiam Apply → Ok. Klik propetis lagi pada Map Properties dan ubah skalanya Y min menjadi 4 dan Y max menjadi 6. Sehingga mendapatkan stick plot dimana stick plot ini mengetahui perubahan pergerakan (arah & kecepatan) arus seiring waktu.

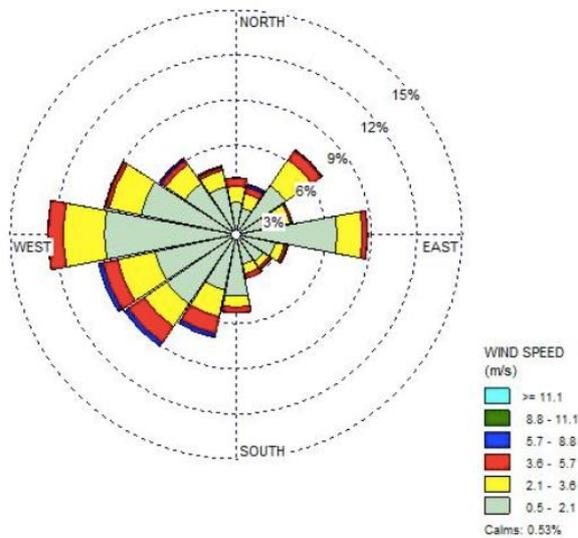
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gelombang

Adapun hasil analisis perhitungan tinggi dan periode gelombang disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Berdasarkan hasil perhitungan gelombang diperoleh rata - rata tinggi gelombang pagi sebesar 0,20 dan periode gelombang 10,8 detik, sedangkan pada waktu sore tinggi rata - rata gelombang 0,17 dengan periode 10,84 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi gelombang yang dihasilkan maka kecepatan waktu yang diperoleh semakin kecil, begitu pula jika tinggi gelombang rendah maka kecepatan waktu yang diperoleh semakin tinggi. Tinggi dan periode gelombang signifikan pagi sebesar 0,22 meter dan 10,3 detik sedangkan pada waktu sore sebesar 0,20 meter dan 12,11 detik. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang pada waktu pagi lebih tinggi dibandingkan pada waktu sore.

Berdasarkan hasil analisa frekuensi dan presentase angin dihasilkan bentuk model mawar angin (Windrose). Adapun hasil analisis perhitungan peramalan gelombang disajikan dalam gambar berikut.

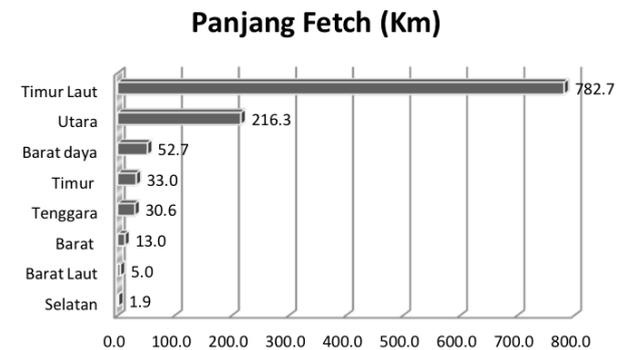


Gambar 4. Windrose perairan Pulau Derawan berdasarkan data angin yang tercatat di Stasiun BMKG Kalimantan tahun 2010 -2015.

Berdasarkan hasil tersebut diperoleh arah angin sebagian besar dari arah barat 12%, kemudian dari barat daya 9%, dan terkecil dari arah Tenggara sebesar 3%. Kecepatan angin dominan berkisar 1,0 – 3,0 m/s sebesar 65%. Kecepatan angin tertinggi

yakni pada kisaran 7 - 11 m/s sebesar 1%. Hasil pengolahan model distribusi angin menggunakan data angin selama 10 tahun (2010 -2015) diperoleh model distribusi angin yang dikelompokkan menurut musim untuk kecepatan angin tenang (,0,27 m/s), lemah (5,27 m/s) dan sedang (5,55 – 8,05 m/s).

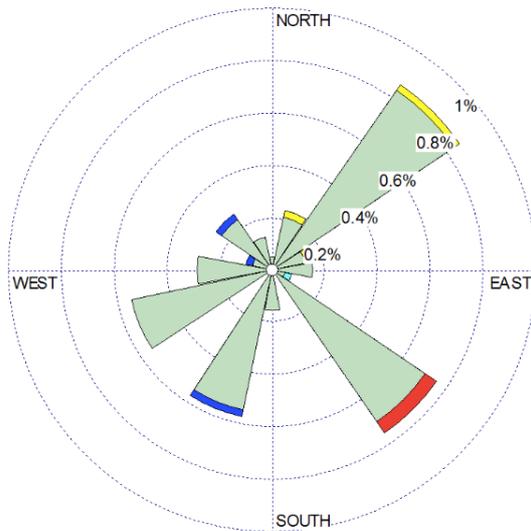
Guna mengetahui kondisi gelombang perairan dalam Pulau Derawan dilakukan analisis peramalan tinggi gelombang berdasarkan data angin dan panjang fetch. Data angin menggunakan data arah dan kecepatan angin pada kondisi maksimum yang telah dijabarkan pada bagian sebelumnya. Sedangkan untuk panjang fetch diketahui dengan menarik garis dari perairan daerah rencana ke arah laut hingga pada batas garis daratan/pulau terdekat. Model penarikan garis *fetch length* disajikan pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. *Fetch Length* perairan Pulau Derawan.

Fetch untuk perairan daerah Pulau Derawan setelah melalui analisis diperoleh arah berasal dari utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat, dan barat laut. *Fetch* terpanjang berasal dari arah timur laut yakni sepanjang 782,7 km, sedangkan *fetch* terpendek berasal dari arah selatan 1,9 km. Dari hasil perhitungan data fetch dan data distribusi angin. Maka model gelombang dengan hasil model distribusi arah dan diagram gelombang mawar gelombang (*Waverose*). Analisa gelombang bertujuan untuk memodelkan tinggi dan arah datang gelombang pada perairan Pulau Derawan. Adapun hasil analisis distribusi kejadian gelombang berdasarkan arah

datang dan tinggi gelombang disajikan pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Waverose perairan Pulau Derawan berdasarkan data angin yang tercatat di Stasiun BMKG Kalimantan tahun 2010 -2015.

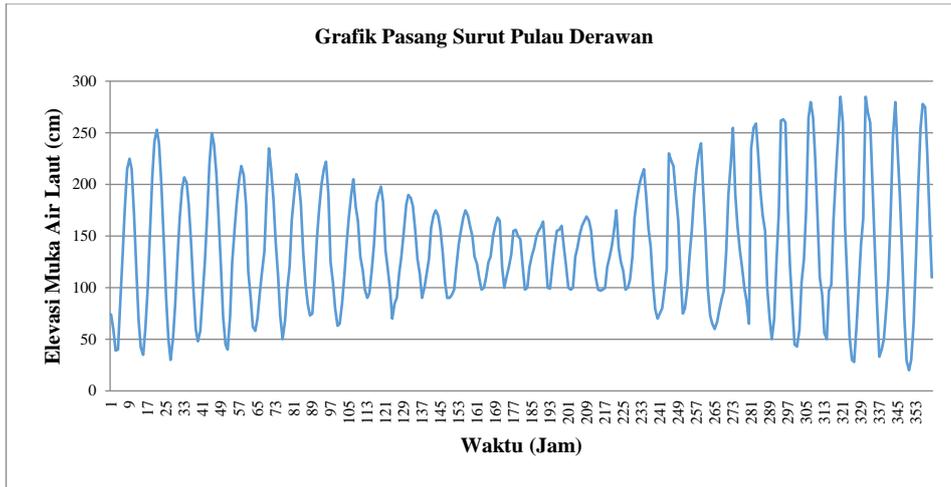
Berdasarkan hasil analisa waverose tersebut dapat diketahui peluang besarnya gelombang tertinggi mencapai 4 m berasal dari arah timur laut sebesar 1% dan tenggara sebesar 1%. Hasil perhitungan kecepatan angin tertinggi antara 7 – 10 m/s dengan kisaran sedang menurut skala beufort. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan peneliti yang dilakukan oleh Hadi, (2012). Hasil penelitian Hadi, (2012) menunjukkan kecepatan angin yang diperoleh dengan kisaran sedang (11-16 knot) dengan menggunakan data BMKG selama 16 tahun (1995-2010) dan menghasilkan arah dominan pada musim barat. Hal ini terjadi karena penelitian berlangsung pada saat musim barat. Gelombang yang terbentuk

relatif besar pada saat musim barat jika dibandingkan musim timur dan musim Peralihan. Sehingga kecepatan angin agak kuat hal yang sama terjadi juga pada musim peralihan dan musim timur.

Data arah angin disajikan dalam bentuk model mawar angin (Windrose). Berdasarkan analisa mawar angina, arah angin dominan dari barat (12%) dengan kecepatan angin berkisar antara 1,0 – 3,0 m/s (65%). Dari hasil analisis tersebut dinyatakan bahwa arah dominan dari arah barat sesuai dengan waktu pengukuran gelombang yang dilakukan pada bulan januari hingga february di perairan Pulau Derawan bertepatan dengan terjadinya angin musim barat. Sehingga angin bertiup dominan dari arah barat ke arah timur. Menurut (Tjasyono, dan Mustofa, 2000) perbedaan arah angin dalam dua musim yaitu musim barat dan musim timur, dimana musim barat terjadi pada saat musim dingin di bumi bagian utara yang umumnya terjadi pada bulan oktober hingga april dan puncaknya terjadi pada bulan desember, januari dan february, sebaliknya pada musim timur terjadi pada saat musim dingin di bumi bagian selatan yang terjadi antara bulan april hingga oktober.

Pasang Surut

Hasil analisa didapatkan bahwa pasang surut Pulau Derawan memiliki tipe pasang harian ganda (*semi diurnal*) dengan kejadian pasang dua kali pasang dan dua kali surut. Selama pengukuran (15 hari) terjadi dua kali pasang tertinggi 272 cm (pasang purnama) dan satu kali pasang rendah 33 cm (pasang perbani) dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik pasang surut Pulau Derawan

Frekuensi air pasang dan surut setiap hari menentukan tipe pasang surut. Secara teoritis pasang surut dapat dianalisa dengan perbandingan antara amplitudo unsur pasut ganda utama (M2 dan S2) dan unsur pasut tunggal utama (K1 dan O1). Dari hasil pengukuran lapangan lokasi penelitian di

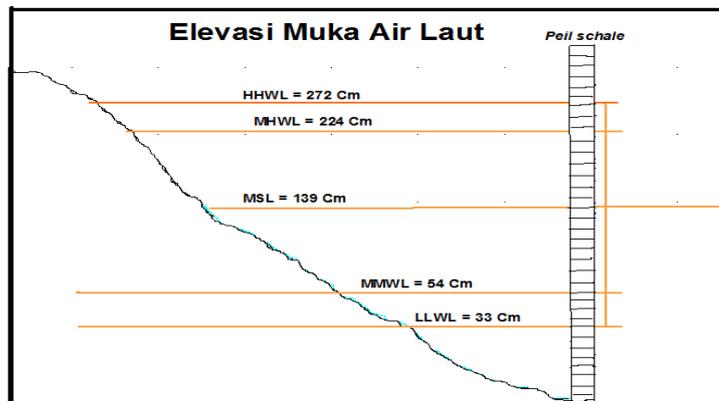
Pulau Derawan didapatkan Sembilan (9) komponen konstanta harmonik pasut dapat dilihat pada tabel 3. Nilai bilangan Formhzal berkisar $0.15 \leq 0.25$ yang artinya pasut perairan Derawan memiliki tipe harian ganda (*Semi diurnal*).

Tabel 2. Konstanta harmonik pasut Pulau Derawan

Admiralty	S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A cm	139.3	69.0	36.6	18.5	10.8	5.0	5.5	3.4	9.9	1.6
g°		312.5	46.9	-117.5	336.8	335.3	107.7	171.1	46.9	336.8

Hasil analisis konstanta harmonik dapat diturunkan menjadi elevasi muka air laut secara horizontal yang dapat

diilustrasikan pada Gambar 8. Elevasi muka air laut dihasilkan dari penjumlahan beberapa konstanta harmonik.



Gambar 8. Elevasi Pasang Surut Pulau Derawan

Komponen utama pasut seperti M2, S2, K1 dan O1 menentukan tipe pasut suatu perairan karena adanya perbedaan tipe

diberbagai perairan. Menurut Wyrcki (1961), pasut di Indonesia dibagi menjadi empat yaitu : pasut harian tunggal (*Diurnal*

Tide), pasut harian ganda (*Semi Diurnal Tide*), pasut campuran condong harian tunggal (*Mixed Tide, Prevailing Diurnal*), pasut campuran condong harian ganda (*Mixed Tide, Prevailing Semi Diurnal*). Berdasarkan hasil penelitian di Pulau Derawan tipe pasut harian ganda (*Semi diurnal*) dengan kejadian pasut dua kali pasang dan dua kali surut, dilalukan pengamatan selama lima belas (15) hari terdapat dua kali pasang purnama (*spring tide*) dan satu kali pasang perbani (*Neep tide*).

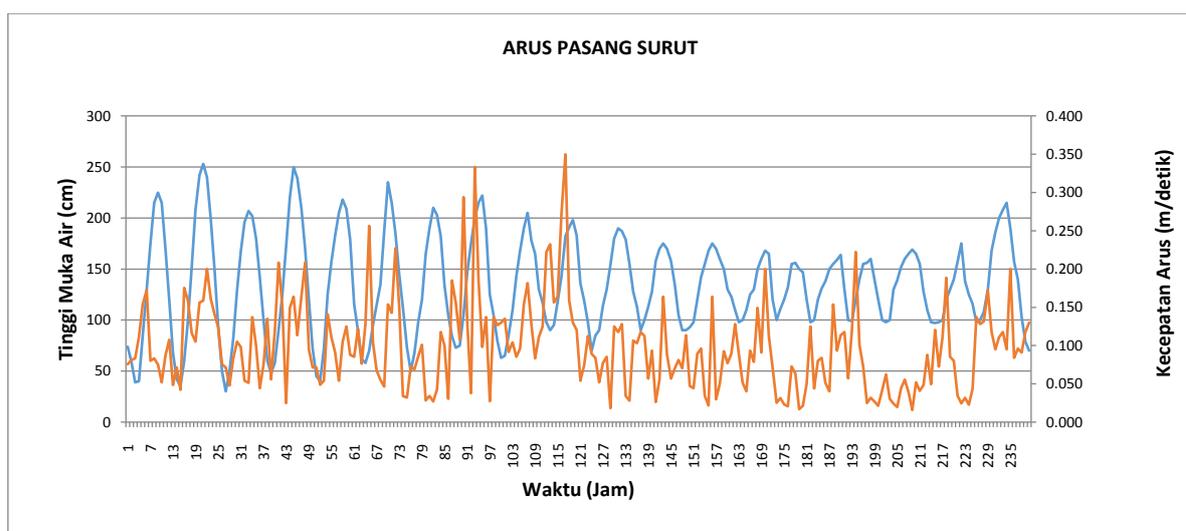
Hasil analisis pasut Pulau Derawan menunjukkan bahwa yang memberi pengaruh paling besar adalah konstanta harmonik M2 dengan kisaran nilai 69.0 cm dan keterlambatan fase 312.5 cm sedangkan konstanta harmonik P1 pengaruhnya kecil dengan kisaran nilai 1.6 cm dan keterlambatan fase 336.8 cm (Tabel 3). Menurut Mac Millan, (1966) berkaitan dengan fenomena pasut gaya coriolis mempengaruhi arus pasut. Faktor gesekan dasar dapat mengurangi tunggang pasut dan menyebabkan keterlambatan fase (*Phase lag*) serta mengakibatkan persamaan gelombang pasut menjadi non linier. Semakin dangkal perairan maka semakin besar pengaruh gesekannya. Hal ini sesuai dengan pendapat Wyrcki (1961) menyatakan

bahwa teori gravitasi universal, besaran gaya gravitasi berbanding terbalik terhadap jarak. Oleh karena itu, meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, gaya tarik gravitasi bulan lebih besar dari pada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasut laut karena jarak bulan ke bumi lebih dekat dari pada jarak matahari ke bumi. Sir Isaac Newton berpendapat dengan teori kesetimbangan (*Equilibrium Theori*) yang menyatakan bahwa besarnya gaya tarik menarik antara dua titik massa berbanding lurus dengan massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya. Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari sehingga menghasilkan beberapa tonjolan (*bulge*) pasut gravitasional di laut.

Arus Pasang Surut

Tipe arus pasang surut di perairan Derawan memiliki tipe harian ganda yang berarti terjadi empat kali perubahan kecepatan arus secara signifikan. Peningkatan kecepatan arus tersebut terjadi dua kali yakni saat menuju pasang dan dua kali menuju surut.

Berikut disajikan hasil pengukuran kecepatan pasang surut yang diikat dengan pengukuran pasang surut.



Gambar 9. Kurva Hasil Pengukuran Arus Pasang Surut Perairan Pulau Derawan Selama 240 Jam/10 Hari (27 Januari – 6 Februari 2016)

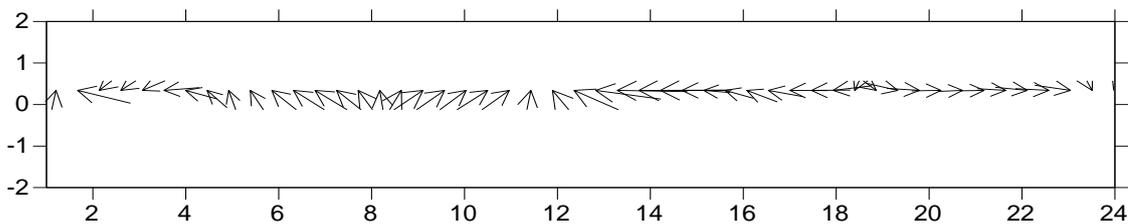
Pada saat muka air sedang naik menuju pasang maka akan terjadi peningkatan kecepatan arus secara gradual sehingga mencapai kecepatan tertinggi namun mendekati puncak muka air tertinggi kecepatan arus menurun, sehingga pada saat muka air mencapai elevasi tertinggi kecepatan menjadi lebih kurang atau sama dengan nol. Sebaliknya pada saat arus surut maka akan terjadi peningkatan kecepatan arus secara gradual sehingga mencapai kecepatan tertinggi. Saat mendekati muka air terendah, kecepatan arus menurun sampai pada saat muka air mencapai surut terendah. Pada saat surut terendah kecepatan menjadi lebih kurang atau sama dengan nol.

Kecepatan arus yang berada pada kondisi minimum (mendekati 0) baik pada saat puncak pasang tertinggi maupun surut terendah tersebut dikenal dengan nama *slack water*. Secara teoritis *slack water* atau air diam merupakan kondisi dimana kecepatan arus pasang surut mendekati nol, khususnya pada saat pembalikan kondisi pasang surut. Istilah *slack water* juga digunakan dalam bidang navigasi laut. Pembacaan tabel pasang surut selain untuk memperoleh informasi ketinggian muka air pada waktu tertentu juga dimaksudkan untuk memprediksi arus pasang surut dan jeda *slack water* suatu perairan.

Kecepatan arus laut dari kedua kondisi yaitu pada saat pasang dan pada saat surut

terlihat bahwa kecepatan arus maksimum saat menuju surut hampir sama dengan saat menuju pasang. Hal ini bersesuaian dengan Hadi dan Radjawane (2009) yang menyatakan bahwa laju maksimum arus terjadi pada saat perubahan fase pasang menuju surut atau sebaliknya, dan pada kondisi elevasi tertinggi akan membuat kecepatan relatif nol. Pada saat surut menuju pasang dan pasang menuju surut juga terlihat kecepatan minimum sangat kecil, hal ini diduga pada saat tersebut terjadi *slack water*, dimana terjadi perubahan arah pasang surutnya. Kecepatan arus maksimum terjadi waktu antara air tinggi dimana arah pasang menuju pantai (*flood water*) dan air rendah ketika arah arus surut meninggalkan pantai (*ebb water*). Dengan demikian periode kecepatan arus pasut akan mengikuti periode pasut yang membangkitnya.

Guna mengetahui pola pergerakan arus pasang surut, dilakukan pengamatan pergeseran vector arus dalam interval 1 jam selama 24 jam pada satu stasiun permanen. Pengukuran arus tersebut dimaksudkan untuk memperoleh gerakan massa air atau vector yang mempunyai besaran kecepatan dan arah pergerakan arus yang bergerak ke berbagai arah atau pola arus bergerak secara tidak teratur. Hasil pengukuran disajikan pada gambar stick plot di bawah ini.



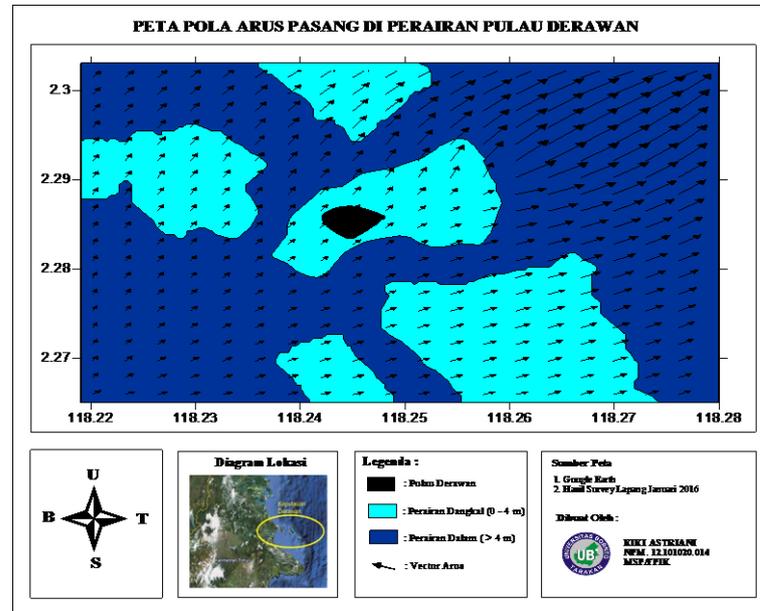
Gambar 10. Stick plot arah arus pasang surut selama 24 jam

Stick plot merupakan model tampilan grafik yang memberikan gambaran perubahan distribusi arah kecepatan arus pada suatu titik berdasarkan data runut waktu. Setiap anak panah merepresentasikan vector arus, dalam hal ini arah panah menunjuk arah arus, panjang panah merujuk pada kecepatan arus. Model *Stick plot* yang

dihasilkan memberikan tiga informasi terkait arus pasang surut Pulau Derawan yaitu arah, waktu, dan besarnya (kecepatan). Dalam tampilan data diatas, arah gerak arus disimbolkan dengan panah kecil pada setiap tongkat, masing-masing panah menunjukkan ke arah arus dengan utara kompas sebagai acuan. Waktu ini terletak di

bagian bawah garis sumbu y (sumbu waktu), masing-masing plot menunjukkan waktu pengukuran. Kecepatan menggambarkan kecepatan arus pada garis horizontal dari ujung tongkat ke dalam dan garis vertikal terletak disisi kiri yang merupakan skala yang digunakan untuk memperkirakan

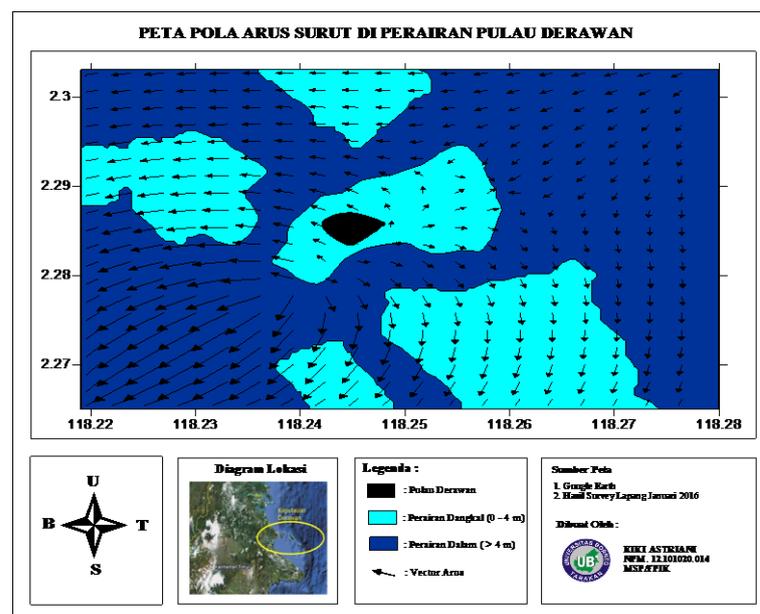
kecepatan dengan satuan m/s. Berdasarkan model pola arus laut di Perairan Pulau Derawan yang diperoleh diketahui bahwasanya terjadi perubahan arah dan kecepatan arus secara dinamis. Pada *stick plot* juga tergambar bahwa arah arus pasut tersebar ke semua arah kecuali selatan.



Gambar 11. Peta Pola Arus Pasang

Pola arus pasang di Perairan Pulau Derawan menunjukkan bahwa pada saat pasang arah arus dominan bergerak ke arah timur laut. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pada saat memasuki perairan yang lebih

dalam, kecepatan arus meningkat pesat. Berdasarkan hasil pengukuran arus dilapangan, maka diperoleh kecepatan arus maksimum 0.039 m/detik pada saat air menuju pasang.



Gambar 12. Peta Pola Arus Surut

Sementara itu pola arus pada saat surut di Perairan Pulau Derawan menunjukkan bahwa pada saat surut arah arus dominan bergerak menyebar ke berbagai arah mengikuti kontur dasar perairan. Berdasarkan hasil pengukuran arus dilapangan, maka diperoleh kecepatan arus maksimum mencapai 0.529 m/detik pada saat air pasang menuju surut.

Susanto (1982) menyatakan bahwa arus pasut adalah gerak horizontal badan air menuju dan menjauhi pantai seiring dengan naik turunnya muka laut yang disebabkan oleh gaya-gaya pembangkit pasut. Pergerakan pada saat terjadi surut, permukaan air lebih rendah dari permukaan laut rata-rata, sehingga arus mengalir menjauhi pantai dan sebaliknya pada saat pasang, arus mengalir mendekati pantai.

Secara umum profil kecepatan arus bervariasi menurut kedalaman. Hal ini disebabkan karena berbagai factor misalnya pada lapisan permukaan pengaruh energi angin membangkitkan arus permukaan, sedangkan sebaliknya semakin bertambahnya kedalaman maka semakin berkurang kecepatan rata-rata arus karena adanya gesekan di tiap lapis kedalaman serta adanya gesekan di dasar perairan turut mengurangi laju arus seiring bertambahnya kedalaman. Safwan (2006) menyatakan bahwa arus yang mengalir diatas dasar laut akan mengalami pengaruh gesekan dasar, seperti halnya lapisan permukaan laut dimana lapisan spiral ekman terbentuk oleh pengaruh gesekan angin. Dengan demikian, arus pasut seperti ini oleh Pugh (1987) digolongkan sebagai arus tipe bolak balik atau *reversing current* dan terkadang disebut juga *rectilinear current*.

Kecepatan arus pasang surut Pulau Derawan berubah-ubah secara periodik dalam suatu selang waktu tertentu, hal ini sebagaimana dinyatakan oleh Duxbury *et al.*, (2002). Arus pasang surut merupakan tipe arus yang dominan dalam proses sirkulasi air laut di perairan dangkal seperti teluk, selat, maupun pulau-pulau kecil. Arus pasang surut mentransportkan massa air dari laut dalam menuju perairan yang lebih

dangkal di sekitar pantai. Sebaliknya pada saat surut massa air tertransportasi perairan pantai ke laut dalam (Hatayama *et al.*, 1996).

Ketika masaa air menuju pasang atau pun surut memasuki daerah reef flat (dangkalan terumbu) di bagian luar dari Pulau Derawan maka massa air yang bergerak akan mengalami transformasi baik dalam arah dan kecepatannya. Olehnya itu, untuk memetakan secara rinci pola interaksi pergerakan massa air yang terbawa oleh fenomena pasang surut diperlukan kajian topografi yang lebih rinci. Hal ini untuk meminimalisir sumber-sumber kesalahan dalam pembuatan model 2 dimensi dari pola pergerakan arus. Lebih jauh, dengan adanya kontur topografi/batimetri dalam resolusi yang tinggi, sangat memungkinkan membuat simulasi gerak arus pasang surut menggunakan berbagai perangkat lunak olah data oseanografi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dapat disimpulkan beberapa hal diantaranya;

1. Tinggi gelombang signifikan pada perairan Pulau Derawan adalah sebesar 0,22 m dengan periode signifikan sebesar 10,3 detik
2. Perairan Pulau Derawan memiliki tipe pasang surut harian ganda (*Semi diurnal*)
3. Pola pergerakan arus pasang surut pada perairan Pulau Derawan mengikuti gaya pasang surut pembangkitnya dimana terjadi 4 kali peningkatan kecepatan arus dalam sehari semalam dengan pergeseran arah arus secara gradual.

DAFTAR PUSTAKA

- Duxbury, A.B., Duxbury, A.C., and Sverdrup, K.A., 2002. *Fundamental of Oceanography*. McGraw-Hill Higher Education. ISBN: 0072826789, 9780072826784.
- Hadi, Saiful. 2012. *Studi Durasi dan Kecepatan Angin untuk Peramalan Gelombang di Perairan Semarang*. Skripsi Sarjana Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Semarang.

- Hatayama, T., Awaji, T., Akitomo, K., 1996. Tidal currents in the Indonesian Seas and their effect on transport and mixing. *Journal of Geophysical Science*.
- Mac Millan, C. D. H. 1966. Tides fenomena pasut. American Elsevier Publishing Company, Inc., New York.
- Susanto, D., 1999. El Nino Southern Oscilation signal in the Indonesian throughflow: Preliminary results from Makassar straits mooring. *J. Oceanica*, 5:1-14.
- Tjasyono, B.H.K., dan Mustofa, A.M (2000)” Seasonal Rainfall Variation Over Monsoonal Areas” *Jurnal Teknologi Mineral*. VII No.4 FIKTM-ITB Bandung.
- Triatmodjo, B., 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- World Meteorological Organization (WMO). 1998. *Guide to Wave Analysis And Forecasting*. WMO, Jenewa.
- Wyrcki, K. 1961. *Physical Oceanography of the South East Asian Waters*. Naga Report Vol. 2 Scripps, Institute Oceanography, California.