

## THE PATTERN OF TIDAL WAVE HAZARD IN BANGGAI KEPULAUAN DISTRICT

### POLA BAHAYA GELOMBANG PASANG DI KABUPATEN BANGGAI KEPULAUAN

*Deliyanti Ganesha<sup>1</sup> dan Hasmana Soewandita<sup>2</sup>*

#### **Abstract**

*Location of Banggai Kepulauan District is in Central Sulawesi which is national priority province for tidal wave hazard in Indonesia based on BNPB. Due to Banggai Kepulauan is a district with archipelago form, Banggai Kepulauan has a high potential to get impacted by tidal wave especially tidal wave from The Pacific Ocean. Parameter of tidal wave hazard mapping consist of wind direction, coastline morphology and tidal wave history. The pattern of tidal wave hazard in Banggai Kepulauan are analyzed by two main pattern with different wind direction. First pattern is Tidal Wave Hazard from Northeast (The Pacific Ocean). On February, March and December period in this pattern, tidal waves occurs in North, Northeast and East of Peling Island. The height of the wave up to 3 meter. The second pattern is Tidal Wave Hazard from Southeast (Banda Sea). On May, June and July period in the second pattern, tidal waves occurs in South and West of Peling Island especially Tolo Bay area. The heigh of the wave up to 3 meters.*

**Keyword:** *Banggai Kepulauan, pattern, hazard, tidal wave*

#### **Abstrak**

*Kabupaten Banggai Kepulauan terletak di Provinsi Sulawesi Tengah yang merupakan salah satu provinsi prioritas nasional untuk bencana gelombang pasang di Indonesia berdasarkan BNPB. Banggai Kepulauan adalah kabupaten dengan bentuk kepulauan sehingga berpotensi terkena bahaya gelombang pasang terutama gelombang pasang yang berasal dari Samudera Pasifik. Parameter yang digunakan dalam menentukan pola bahaya gelombang pasang adalah arah angin, kelandaian pantai dan riwayat gelombang pasang. Berdasarkan hasil analisis, maka diketahui bahwa pola bahaya gelombang pasang di Kabupaten Banggai Kepulauan terdiri dari dua pola utama yaitu bahaya gelombang pasang dari Timur Laut dan Tenggara. Gelombang pasang dari Timur Laut berasal dari Samudera Pasifik, sedangkan gelombang pasang dari Tenggara berasal dari Laut Banda. Pada periode gelombang pasang Timur Laut yaitu pada bulan Februari, Maret, dan Desember, bahaya gelombang pasang tinggi terjadi di pesisir Utara, Timur, hingga Timur Laut Pulau Peling dengan ketinggian 1 - 3 meter. Pada periode gelombang pasang Tenggara, khususnya pada bulan Mei, Juni, dan Juli, tinggi gelombang pasang yang memasuki wilayah Perairan Selatan, Barat dan Tenggara Pulau Peling serta Teluk Tolo berkisar antara 1 hingga mencapai 3 meter.*

**Kata kunci:** *Banggai Kepulauan, pola bahaya, bencana, gelombang pasang*

<sup>1</sup> Pusat Teknologi Reduksi Risiko Bencana (PTRRB), Kedeputian TPSA-BPPT Lab. Geodinamika, Gedung Gesotech 820, Kompleks Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, email: deliyanti.ganesha@bppt.go.id

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gelombang laut adalah satu fenomena alam yang sering terjadi di laut dan merupakan peristiwa naik turunnya permukaan laut secara vertical yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. (Mulyabakti, 2016). Gelombang laut timbul karena adanya gaya pembangkit yang bekerja pada permukaan laut. Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, gaya pembangkit tersebut terutama berasal dari angin, dari gaya tarik menarik bumi, bulan dan matahari atau yang disebut dengan gelombang pasang surut. (Ayunarita, 2017).

Sedangkan Gelombang pasang adalah gelombang air laut yang melebihi batas normal, dan dapat menimbulkan bahaya di laut maupun di darat terutama daerah pinggir pantai. Umumnya gelombang pasang terjadi karena adanya angin kencang/puting beliung, perubahan cuaca yang sangat cepat, dan karena ada pengaruh dari gravitasi bulan maupun matahari. Kecepatan gelombang pasang sekitar 10-100 km/jam. Gelombang pasang di laut akan menyebabkan tersapunya daerah pinggir pantai yang disebut dengan abrasi. Karakteristik terjadinya gelombang pasang adalah adanya angin yang kencang, terjadinya badai di tengah laut yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang di pinggir pantai serta perubahan cuaca yang tiba tiba menjadi gelap. Dampak dari adanya gelombang pasang adalah kerusakan sarana dan prasarana, termasuk perumahan, infrastruktur transportasi dan pelabuhan. (BNPB, 2012)

Kabupaten Banggai Kepulauan merupakan kabupaten dengan bentuk kepulauan sehingga dikelilingi pantai yang berpotensi terhadap bahaya gelombang pasang. Pantai yang terbuka terhadap laut lepas semakin berpotensi bahaya gelombang pasang. Namun demikian, pantai yang berbentuk teluk pun bisa rawan terhadap gelombang pasang karena adanya kemungkinan resonansi gelombang yang bisa menambah tinggi gelombang saat mencapai pantai. Selain itu berdasarkan Kajian Risiko Bencana Gelombang Pasang dan Abrasi, Provinsi Sulawesi Tengah termasuk ke dalam lokasi prioritas nasional untuk bencana gelombang pasang dan abrasi. Hal tersebut mendukung dilakukannya kajian terkait bahaya gelombang pasang di Kabupaten Banggai Kepulauan yang merupakan bagian dari Provinsi Sulawesi Tengah. (BNPB, 2014)

Kota-kota pusat ekonomi/pemerintahan di Banggai Kepulauan terbuka terhadap laut lepas yang berpotensi mendapatkan serangan gelombang pasang, baik pasang surut maupun akibat badai dan alun. Batimetri perairan Banggai Kepulauan umumnya dalam serta curam sehingga gelombang pecah di dekat pesisir. Samudera Pasifik juga merupakan pusat terjadinya badai, sehingga bencana yang diakibatkan oleh cuaca ekstrim kerap terjadi dan memicu pertumbuhan gelombang yang tinggi. Bentuk pantai berupa tanjung dengan batimetri yang curam sering mendapatkan serangan gelombang yang sangat kuat karena energi gelombang terkonsentrasi di daerah tersebut. Pada bulan Februari – Maret, angin utara yang berasal dari Samudera Pasifik bertiup menuju pantai utara Pulau Peleng (Banggai Kepulauan). Berdasarkan data prediksi pasang surut yang dirilis oleh BMKG, secara umum kisaran pasang surut di wilayah perairan Kabupaten Banggai Kepulauan adalah antara 0.25 sampai 1.25 meter dengan tipe pasang surut ganda campuran yaitu dalam satu bulan bisa mengalami dua kali pasang dan dua kali surut. (BMKG, 2017)

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka perlu dilakukan pemetaan bahaya gelombang pasang dan mengidentifikasi pola bahaya gelombang pasang di Kabupaten Banggai Kepulauan. Sehingga dapat mengurangi kerugian yang ditimbulkan oleh bahaya gelombang pasang serta melakukan mitigasi bencana yang efektif.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari kajian ini adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisis kondisi gelombang pasang di Kabupaten Banggai Kepulauan sehingga didapatkan pola bahaya gelombang pasang di wilayah perairan Kabupaten Banggai Kepulauan.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Pengumpulan & Pengolahan Data

Data yang diperlukan pada kajian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari *groundcheck* /studi lapangan. Studi lapangan dilakukan pada saat survei ke Kabupaten Banggai Kepulauan yaitu dengan melakukan observasi dan verifikasi terkait lokasi terjadinya gelombang pasang. Selain itu dilakukan wawancara terhadap pihak berwenang yaitu BPBD Kabupaten Banggai Kepulauan serta warga setempat yang bertempat tinggal atau bekerja di lokasi sekitar terjadinya gelombang pasang.

Sedangkan data sekunder diperoleh dari studi literatur secara instansional dan noninstansional. Studi literatur instansional dilakukan pada beberapa instansi berikut ini:

1. Data Pergerakan Gelombang Laut dari BMKG.
2. Data RBI 1: 25.000 dan 1:50.000 dari Badan Informasi Geospasial

Studi literatur secara non-instansional yaitu dilakukan studi melalui kajian referensi jurnal, buku dan internet.

## 2.2 Analisis

Analisis data yang dilakukan adalah dengan metode analisis spasial yang terdiri dari analisis *overlay* beberapa variabel penentu wilayah bahaya gelombang pasang di Kabupaten Banggai Kepulauan. Angin dengan kecepatan besar yang terjadi di atas permukaan laut bisa membangkitkan fluktuasi muka air laut yang besar di sepanjang pantai. Banyaknya variabel dan kompleksitas yang menyertai badai ini, menyebabkan perkiraan dan penentuan elevasi muka air selama terjadinya badai sulit diprediksi. Variabel-variabel tersebut melibatkan antara lain interaksi antara angin dan air, perbedaan tekanan atmosfer dan lain-lain.

Salah satu parameter yang penting dalam suatu penelitian dinamika pantai adalah gelombang laut. Pada umumnya gelombang laut tersebut adalah gelombang laut yang disebabkan oleh tiupan angin baik langsung maupun tidak langsung. Pada daerah tiupan angin (dikenal dengan istilah '*fetch*'), terjadi peristiwa transfer energi angin ke energi gelombang dalam spektrum frekuensi yang luas. Dengan kata lain, di daerah angin tersebut terbentuk campuran gelombang dengan bermacam-macam frekuensi.

Distribusi frekuensi dan besarnya energi gelombang ditentukan oleh tiga faktor, yaitu: luasnya daerah tiupan angin, lamanya angin bertiup dan besarnya tiupan angin. Gelombang yang terbentuk tersebut akan menjalar keluar dari daerah tiupan angin hingga mencapai daerah dangkal atau pantai, dan melepaskan energinya. Gelombang laut yang terbentuk akibat tiupan angin setempat umumnya mempunyai ketinggian yang kecil (kurang dari 0.5 meter) dan mempunyai periode waktu kurang dari 4 detik. Hal ini disebabkan oleh terbatasnya daerah tiupan angin. (Arief, 1994)

Sedangkan gelombang yang terbentuk di daerah lepas pantai atau di tengah laut seringkali mempunyai energi yang besar akibat luasnya daerah tiupan angin dan lebih besarnya tiupan angin di laut dibandingkan dengan tiupan angin di pantai. Selama penjarannya tersebut, gelombang tersebut mengalami proses dispersi

akibat perbedaan kecepatan rambat gelombang yang berbeda periodenya. (Arief, 1994)

Angin yang berhembus di atas permukaan air laut akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin menimbulkan tegangan pada permukaan air laut, sehingga permukaan air yang awalnya tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. (Putri, 2016)

Terdapat 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 angin dari arah pembangkitan gelombang atau daerah pembangkitan gelombang)

Gelombang yang merambat dari perairan dalam menuju perairan dangkal (pantai) akan mengalami perubahan perilaku gelombang dari sifat dan parameter gelombang seperti proses refraksi, *shoaling*, refleksi maupun difraksi akibat pengaruh karakteristik dan bentuk pantai. (Baharuddin, 2009)

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka dengan mempertimbangkan ketersediaan data maka dapat dianalisis parameter yang diperhitungkan dalam pembuatan peta potensi gelombang pasang adalah sebagai berikut:

1. Arah Angin.  
Datangnya arah angin sangat menentukan tingkat bahaya yang akan diterima oleh wilayah pesisir yang bersinggungan langsung dengan tipologi pesisir, apakah diteluk, ditanjung atau pantai yang lurus. Angin samudera dari lautan lepas yang terhalang oleh daratan/pulau di depan pesisir berkecenderungan terjadi pelemahan kecepatan angin dan menurunkan tingkat besar/tingginya gelombang. Intensitas gelombang akan berkecenderungan makin besar apabila tanpa ada hambatan daratan/pulau di depannya.
2. Batimetri atau kelandaian pantai  
Batimetri memberikan kontribusi besar terhadap kekuatan daya rusak gelombang laut terhadap pesisir pantai. Ketika gelombang laut yang terjadi karena kecepatan angin dan faktor gaya lainnya bertemu pada batimetri yang landai maka kekuatan gelombang laut yang merusak pantai akan melemah.
3. Histori kejadian gelombang pasang  
Histori dan periode kejadian gelombang pasang memberikan beberapa informasi mengenai periode waktu tertentu dan

lokasi kejadiannya di Kabupaten Banggai Kepulauan, sehingga informasi dapat meningkatkan pemahaman dasar-dasar identifikasi potensi gelombang pasang pada lokasi pesisir.

### 3. RIWAYAT GELOMBANG PASANG DI KABUPATEN BANGGAI KEPULAUAN

Stasiun pengukuran pasang surut belum ada yang terpasang permanen di wilayah pesisir Kabupaten Banggai Kepulauan. Dengan demikian data pendukung ini masih sangat minim. Untuk mengatasi hal ini, bisa mendapatkan data pasang surut melalui peramalan atau pemodelan pasang surut global. Data gelombang bisa diperoleh melalui pemodelan gelombang dengan input angin hasil pengukuran radar.

Tingginya populasi di sepanjang pantai rata-rata di Indonesia semakin menambah kerentanan daerah terhadap bencana gelombang pasang. Fakta-fakta yang menambah kerentanan terhadap gelombang pasang adalah sebagai berikut:

- Konsentrasi penduduk yang terletak di sepanjang pantai sehingga berpotensi menimbulkan korban jiwa.
- Ketinggian tempat wilayah pulau pulau di wilayah Kabupaten Banggai Kepulauan 0 – 20 m sehingga terutama pusat-pusat ekonomi, fasilitas sarana dan prasarana serta penduduk terletak di sepanjang garis pantai

Berikut ini merupakan Gambar 1 yang menunjukkan riwayat bahaya gelombang pasang yang terjadi di Kabupaten Banggai Kepulauan pada tahun 2011 berdasarkan BNPB.



Gambar 1. Peta Bahaya Gelombang Pasang di Kabupaten Banggai Kepulauan Tahun 2011. (Sumber: Geospasial BNPB)

Sedangkan berdasarkan data pasang surut yang dikeluarkan oleh BMKG dapat dideskripsikan kondisi gelombang pasang di Kabupaten Banggai Kepulauan sebagai berikut.

Pada bulan Februari – Maret, angin utara yang berasal dari Samudera Pasifik bertiup menuju pantai utara Pulau Peleng (Banggai Kepulauan). Berdasarkan liputan prediksi pasang surut yang dirilis oleh BMKG, ketinggian gelombang di pantai utara bisa mencapai 50 cm. Ketinggian gelombang maksimal bisa mencapai 125 cm di bagian utara meningkat pada bulan Februari dan Maret. Sementara di sebelah selatan, ketinggian gelombang bisa mencapai berkisar 50 cm. Permukaan laut pada periode bulan Mei relatif tenang dengan ketinggian gelombang maksimal di sepanjang pantai sekitar 0 – 50 cm. Hal yang sama terjadi di sisi selatan. Pada bulan Agustus dan September ketinggian gelombang meningkat sampai 50 cm laut utara Pulau Peleng, sedangkan di bagian selatan relatif lebih tenang.

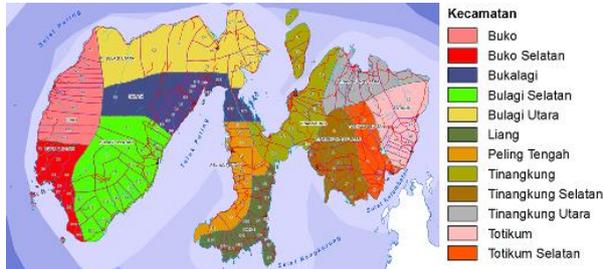
Kemiringan dasar laut juga menentukan kekuatan gelombang pasang, pantai yang landai berbeda dengan pantai yang curam. Dampak dari kejadian gelombang pasang juga berimplikasi pada kerusakan pantai (abrasi). Kemiringan pantai juga turut menentukan daya rusak gelombang pasang terhadap pesisir pantai. Kemiringan pantai yang landai, daya melamparnya gelombang pasang akan lebih jauh dan potensi untuk merusak obyek yang ada muka/bibir pantai juga lebih tinggi.

Secara umum kisaran pasang surut di wilayah perairan Kabupaten Banggai Kepulauan adalah antara 0.25 sampai 1.25 meter dengan tipe pasang surut ganda campuran yaitu dalam satu bulan bisa mengalami dua kali pasang dan dua kali surut. Berbeda dengan abrasi, maka gelombang pasang ini justru rawan melanda daerah yang berupa teluk di mana terdapat muara di dalamnya. Pada daerah berupa teluk, gelombang pasang akan mengalami amplifikasi ketinggian karena efek geometris teluk.

### 4. KONDISI FISIK KABUPATEN BANGGAI KEPULAUAN

Secara geografis, Kabupaten Banggai Kepulauan terletak antara 1°06"30" LS sampai dengan 1°35'58" LS dan 122°37'6,3" BT sampai dengan 123°40'1,9" BT. Kabupaten Banggai Kepulauan merupakan salah satu kabupaten yang berada di Provinsi Sulawesi Tengah. Ibu kota Kabupaten Banggai Kepulauan adalah Salakan. Komposisi ketinggian daratan di wilayah Kabupaten Banggai Kepulauan dari permukaan laut adalah < 500 meter sebesar 98,61% dan 500-700 meter sebesar 1,39%.

Wilayah Kabupaten Banggai Kepulauan bagian timur dibatasi oleh Laut Maluku, bagian selatan berbatasan dengan Kabupaten Banggai Kepulauan, bagian barat berbatasan dengan Selat Peling dan bagian utara berbatasan dengan Kabupaten Banggai. Kabupaten Banggai Kepulauan merupakan kabupaten bahari yang terdiri dari 12 kecamatan dengan luas laut sekitar 6.671,32 km<sup>2</sup> atau sekitar 72,83% dari luas keseluruhan. Administrasi Kabupaten Banggai Kepulauan ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Peta Administrasi Kabupaten Banggai Kepulauan.

(Sumber: BIG, Peta Digital RBI 1: 50.000)

Kondisi klimatologi dan curah hujan di Kabupaten Banggai Kepulauan dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada tahun 2016 suhu udara rata-rata yang tercatat pada Stasiun Meteorologi Bubung di Luwuk berkisar antara 27,2°C -29,3°C. Suhu udara maksimum terjadi di bulan Februari, yaitu sebesar 32,2°C. Sedangkan suhu udara minimum terjadi di bulan Juni, yaitu sebesar 24,0°C. Rata-rata kelembaban udara relatif pada Stasiun Meteorologi Bubung pada tahun 2016 berkisar antara 72% (September) dan 80% (April).

Tekanan udara rata-rata pada Stasiun Meteorologi Bubung berkisar antara 1.009,4 mb sampai 1.013,1 mb. Tekanan udara maksimum terjadi di bulan Januari. Tekanan udara minimum terjadi di bulan Desember. Rata-rata kecepatan angin pada Stasiun Meteorologi Bubung pada tahun 2016 berkisar antara 3 knot dan 4 knot. Rata-rata jumlah curah hujan di Stasiun Meteorologi Bubung selama tahun 2016 berkisar antara 15,1 mm<sup>3</sup> (September) dan 284,0 mm<sup>3</sup> (Maret). Sedangkan jumlah hujan selama tahun 2016 berkisar antara 8 hari (Agustus) dan 21 hari (Maret).

Penggunaan lahan di Kabupaten Banggai Kepulauan didominasi oleh hutan rimba, yaitu sebesar 135.100 ha atau 54,57% dari keseluruhan luas daratan Kabupaten Banggai Kepulauan. Penggunaan lahan lain yang cukup mendominasi juga adalah semak belukar dan perkebunan yang masing-masing luasnya berturut-turut 72.950 ha (29,47%) dan 27.140 ha (10,96%). Sedangkan permukiman dan tempat

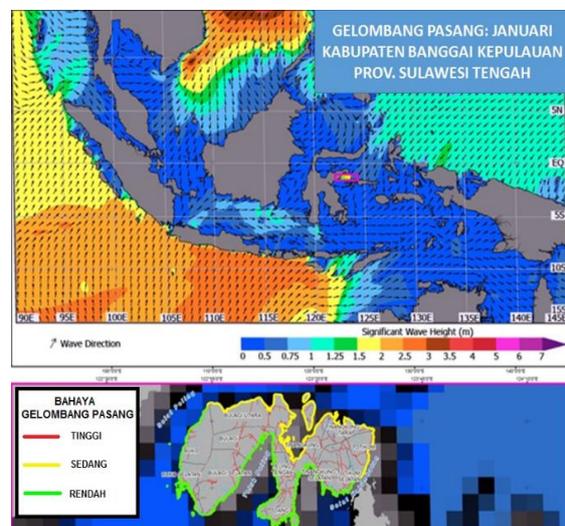
kegiatan yang mencerminkan dinamika kependudukan luasnya hanya 2.120 ha atau 0,89% dari luas keseluruhan wilayah daratan Kabupaten Banggai Kepulauan.

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 BAHAYA GELOMBANG PASANG BULANAN

Untuk mengetahui potensi bahaya gelombang pasang di wilayah perairan Kabupaten Banggai Kepulauan dilakukan analisis potensi bahaya secara periodik (bulanan). Berikut ini akan dijelaskan bahaya gelombang pasang pada setiap bulan yang terjadi pada tahun 2017.

Berdasarkan pada peta bahaya gelombang pasang regional bulan Januari (Gambar 1) nampak kondisi perairan wilayah Kabupaten Banggai Kepulauan khususnya di perairan sekitar Pulau Peling sangat dipengaruhi oleh kondisi gelombang yang ada di perairan Samudra Pasifik. Kawasan wilayah pesisir pada bagian timur laut merupakan bagian kawasan perairan terbuka dan merupakan wilayah terbuka dengan laut bebas yang dalam hal ini Samudera Pasifik. Kecepatan angin yang akan membawa atau menimbulkan gelombang dari arah timur laut mengarah pada kawasan pantai sebelah timur laut Pulau Peling dengan ketinggian gelombang antara 0.5 – 0.75 m. Begitu juga timbulan gelombang ini diperkirakan akan sampai dan berdampak juga pada wilayah kawasan pesisir sebelah utara.



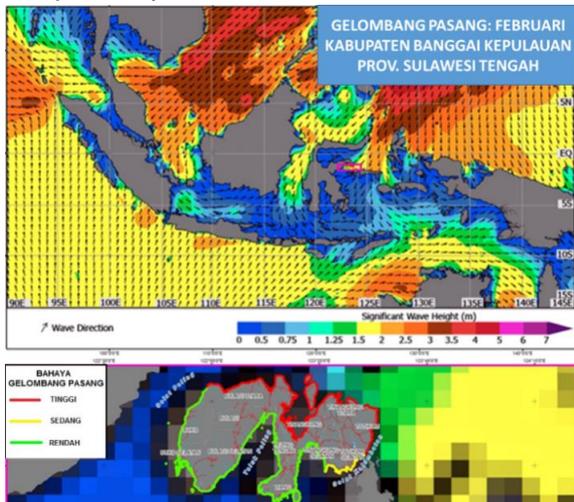
Gambar 1. Peta Bahaya Gelombang Pasang pada Januari 2017.

(Sumber: BMKG dan Pengolahan Data, 2017)

Gelombang pasang ini mempunyai potensi dengan kriteria tergolong sedang. Gelombang laut dari Lautan Pasifik ini juga terus menerobos selat Kalumbatan dan hingga masuk diperairan sebelah selatan Pulau Peling dengan penurunan kecepatan hingga menyebabkan penurunan tinggi gelombang menjadi hanya sekitar 0 – 0.5 m.

Peta bahaya gelombang pasang regional bulan Februari pada Gambar 2 menunjukkan kondisi perairan wilayah Kabupaten Banggai Kepulauan khususnya di perairan sekitar Pulau Peling sangat dipengaruhi oleh kondisi gelombang dengan ketinggian 3 – 3.5 m yang terjadi di perairan Samudra Pasifik. Kondisi gelombang pasang yang tinggi di Samudra Pasifik berimbas pada kawasan wilayah pesisir pada bagian timur laut yang merupakan bagian kawasan perairan terbuka (laut bebas). Kecepatan angin yang menyebabkan gelombang tinggi di perairan Samudra Pasifik ini akan membawa atau menimbulkan gelombang yang masih tinggi hingga perairan sebelah timur laut Pulau Peling hingga mencapai 1.5 – 3 m.

Wilayah pesisir yang mempunyai potensi bahaya gelombang yang tergolong besar yaitu pesisir Kecamatan Tinangkung Utara, Tinangkung dan Bulagi Utara. Gelombang laut dari Samudra Pasifik ini juga terus bergerak mengarah ke selat Banggai dan hingga memasuki perairan sebelah selatan Pulau Peling dengan penurunan kecepatan hingga menyebabkan penurunan tinggi gelombang menjadi hanya sekitar 0 – 0.5 m.



Gambar 2. Peta Bahaya Gelombang Pasang pada Februari 2017

(Sumber: BMKG dan Pengolahan Data, 2017)

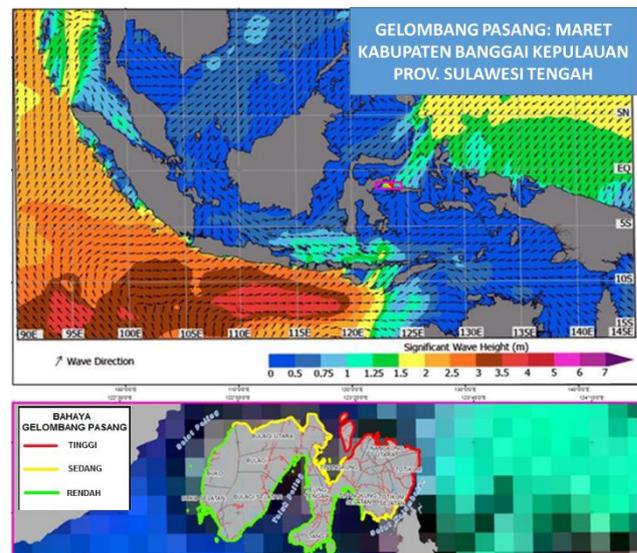
Berdasarkan hasil survei lapang dan wawancara dengan penduduk serta dengan didukung informasi dari BPBD Kabupaten Banggai Kepulauan wilayah pantai pesisir utara Kecamatan Tinangkung Utara khususnya di perairan Tanjung Selo – Selo dan Tanjung Pamali sering terjadi kecelakaan laut (perahu tenggelam) akibat bencana gelombang pasang yang terjadi di daerah tersebut. Lokasi perairan pesisir Tanjung Selo Selo dan Tanjung Pamali dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tanjung Selo – Selo (Atas) dan Tanjung Pamali (Bawah)

(Sumber: BMKG dan Pengolahan Data, 2017)

Peta bahaya gelombang pasang pada Bulan Maret dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Peta Bahaya Gelombang Pasang pada Maret 2017

(Sumber: BMKG dan Pengolahan Data, 2017)

Wilayah perairan timur laut Pulau Peling pada bulan Maret, masih menunjukkan terjadinya

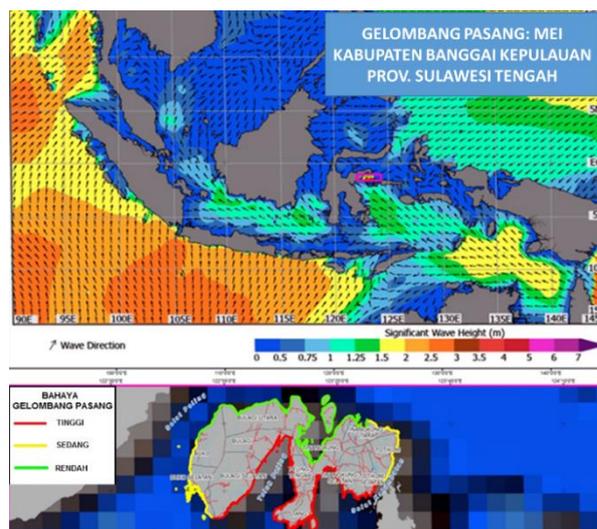
zona potensi gelombang pasang. Kawasan wilayah pesisir pada bagian timur laut merupakan bagian kawasan perairan terbuka dan merupakan wilayah terbuka dengan laut bebas yaitu Samudera Pasifik. Kecepatan angin yang akan menimbulkan gelombang dari arah timur laut mengarah pada kawasan pantai sebelah timur laut Pulau Peling dengan potensi ketinggian gelombang masih tinggi yaitu antara 1.25 – 1.5 m sehingga masuk zona wilayah tinggi. Begitu juga timbul gelombang ini diperkirakan akan sampai dan berdampak juga pada wilayah kawasan pesisir sebelah utara akan tetapi telah mereda hingga potensi gelombang menjadi 0.75 – 1 m. Sehingga wilayah perairan ini ini mempunyai zona potensi gelombang pasang tergolong sedang.

Berdasarkan data gelombang pasang regional bulan April 2017 yang dikeluarkan oleh BMKG maka diketahui bahwa arah angin dari Samudera Pasifik membawa atau menimbulkan gelombang dari arah timur laut mengarah pada kawasan pantai sebelah timur laut Pulau Peling dengan magnitude yang telah mereda dan hanya menimbulkan gelombang yang tergolong rendah. Ketinggian gelombang hanya mencapai maksimal 0.5 m. Begitu juga timbul gelombang ini tidak berpengaruh pada perairan sekitar Pulau Peling lainnya sehingga seluruh perairan sekitar Pulau Peling tergolong masuk zona rendah.

Wilayah perairan timur laut Pulau Peling pada bulan Mei, masih menunjukkan terjadinya zona potensi gelombang pasang yang besar, akan tetapi pada bulan Mei ini terjadi zona potensi bahaya tinggi yang terjadi di wilayah perairan pesisir selatan Pulau Peling seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan peta gelombang pasang regional pada bulan Mei tahun 2017 dan hasil pengolahan maka dapat diidentifikasi kondisi perairan wilayah Kabupaten Banggai Kepulauan khususnya di perairan sekitar Pulau Peling yang sangat dipengaruhi oleh kondisi gelombang yang ada di perairan Samudera Pasifik. Akan tetapi tingkat magnitude dan intensitas gelombang pasang dari Samudera Pasifik sudah mereda hingga mencapai perairan wilayah Kabupaten Banggai Kepulauan. Potensi bahaya gelombang pasang di Pulau Peling sudah mereda dan masuk dalam zona rendah di kawasan utara dan zona sedang di kawasan timur.

Pola gelombang pada bulan Mei ini telah terjadi perubahan. Gelombang kuat dengan zona bahaya tinggi pada wilayah perairan selatan Pulau Peling ini dibangkitkan dari arah perairan laut Banda dengan tinggi gelombang antara 1 – 1.25 m bahkan bisa mencapai 1.5 m pada bagian lebih ke tengah. Tentunya kawasan yang terdampak pada zona gelombang tinggi adalah

wilayah selatan seperti di perairan pesisir Kecamatan Tinangkung Selatan, Tinangkung, Liang, Peling Tengah, Bulagi dan Bulagi Selatan.



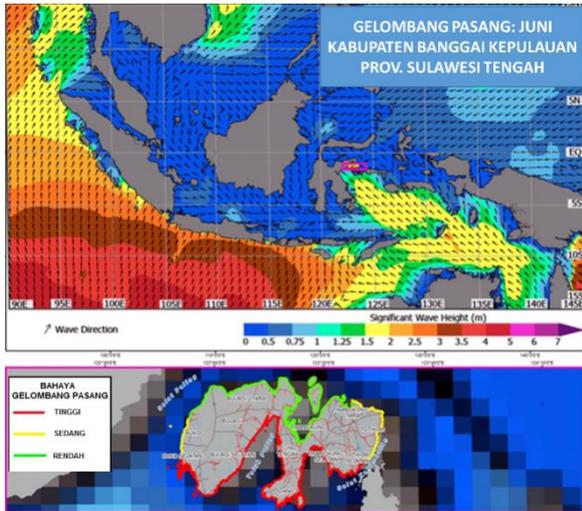
Gambar 5. Peta Bahaya Gelombang Pasang pada Mei 2017

(Sumber: BMKG dan Pengolahan Data, 2017)

Potensi gelombang pasang pada bulan Juni ini masih mempunyai kesamaan pola pada bulan Mei. Berdasarkan peta gelombang pasang regional pada bulan Juni yang dirilis oleh BMKG tahun 2017 dan hasil pengolahan yang ditunjukkan pada Gambar 6 maka terlihat kondisi perairan wilayah Kabupaten Banggai Kepulauan khususnya di perairan sekitar Pulau Peling sangat dipengaruhi oleh kondisi gelombang yang ada di perairan Samudera Pasifik.

Pola gelombang yang berasal dari Samudera Pasifik nampak tidak terjadi gelombang yang ekstrim dan relatif lebih tenang dibandingkan pada bulan bulan sebelumnya. Sehingga hembusan angin dari Samudera Pasifik kecepatannya sudah melemah dan membawa dampak kondisi gelombang perairan Pulau Peling sebelah selatan masuk ke dalam zona rendah.

Sebagaimana disebutkan di atas pola gelombang pada bulan Juni ini telah terjadi perubahan dan gelombang kuat dengan zona tinggi pada wilayah perairan selatan Pulau Peling ini dibangkitkan dari arah perairan laut Banda dengan tinggi gelombang antara 1 – 1.25 m dan bahkan potensinya bisa mencapai 1.5 m pada bagian lebih ke tengah. Tentunya kawasan yang terdampak pada zona gelombang tinggi pada bulan Juni ini masih seperti pada Bulan Mei adalah wilayah selatan seperti di perairan pesisir Kecamatan Tinangkung Selatan, Tinangkung, Liang, Peling Tengah, Bulagi dan Bulagi Selatan.



Gambar 6. Peta Bahaya Gelombang Pasang pada Juni 2017  
(Sumber: BMKG dan Pengolahan Data, 2017)

Berdasarkan Peta Potensi Gelombang Pasang bulan Juli yang dirilis oleh BMKG tahun 2017 serta hasil analisis, potensi sumber gelombang pasang pada bulan Juli masih mempunyai pola yang sama dengan bulan Juni yaitu nampak dari arah yang kuat dari arah tenggara atau dari arah Laut Banda. Intensitas dan sumber gelombang tinggi yang berada di Laut Banda ini mengarah ke perairan selatan pesisir Pulau Peling.

Wilayah yang terdampak dan masuk zona tinggi berada di pesisir selatan ini. Sumber gelombang tinggi dari Laut Banda ini juga mencapai hingga Teluk Tolo dan imbas dari ancaman gelombang tinggi ini juga masih menerpa wilayah pesisir pantai barat Pulau Peling. Begitu juga karena kuatnya angin dan arah dari Laut Banda juga masih berdampak pada gelombang tinggi di Selat Kalumbatan. Sehingga zona gelombang tinggi juga masih menimpa pesisir timur Pulau Peling ini. Wilayah perairan pesisir yang terdampak ancaman bahaya gelombang tinggi adalah pesisir Kecamatan Bulagi Selatan, Bulagi, Peling Tengah, Liang, Tinangkung, Tinangkung Selatan (pesisir selatan), Kecamatan Buko, Buko Selatan (perairan Selat Peling) dan perairan pesisir selat Kalumben yaitu Kecamatan Totikum dan Totikum Selatan.

Kuatnya gelombang pada arah selatan/tenggara dari Laut Banda yang menimpa pesisir selatan telah dihambat oleh kawasan pesisir, salah satunya adalah Pesisir Labibi yang ditunjukkan pada Gambar 7, sementara dari arah Samudera Pasifik terjadi pelemahan gelombang dan justru arah gelombang telah berbelok ke Laut Sulawesi menjadikan wilayah perairan utara Pulau Peling menjadi turut melemah sehingga

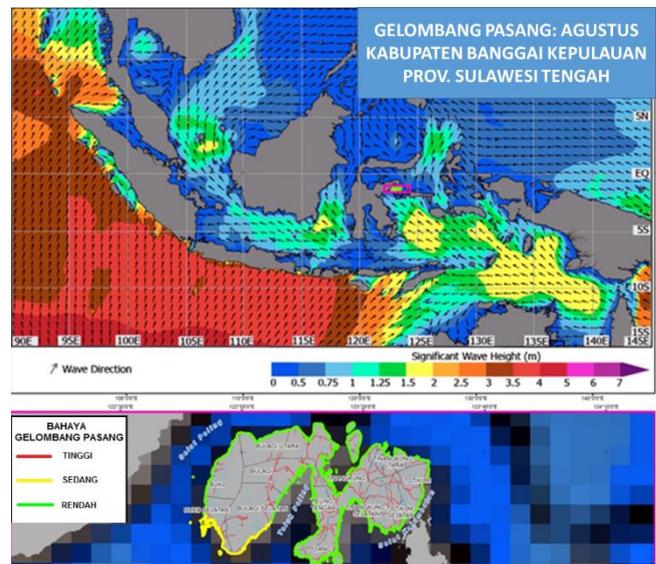
wilayah perairan ini zona potensi gelombang pasangannya menjadi rendah.



Gambar 7. Perairan Pesisir Labibi di Kecamatan Peling Tengah  
(Sumber: Survei Lapang, 2017)

Berdasarkan Peta potensi Gelombang Pasang bulan Agustus yang dirilis oleh BMKG tahun 2017 serta hasil analisis, intensitas dan sumber gelombang tinggi yang berada di Laut Banda ini mengarah ke perairan selatan pesisir Pulau Peling sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Intensitas dan kuat gelombang pasang dari arah laut Banda ini telah melemah sampai perairan selatan pesisir selatan Pulau Peling, sehingga zona ancaman bahaya gelombang pasang yang diterima atau masuk perairan selatan ini berada pada zona rendah. Akan tetapi dengan melihat arah gelombang yang lebih kuat akan diterima di wilayah sebelah baratnya dan masuk zona sedang.

Pada bulan Agustus, zona gelombang terbesar yaitu hanya mencapai zona ancaman bahaya sedang dan terjadi di wilayah pesisir selatan bagian barat. Secara administrasi, wilayah pesisir yang masuk zona sedang adalah di Kecamatan Buko Selatan dan Bulagi Selatan bagian selatan.



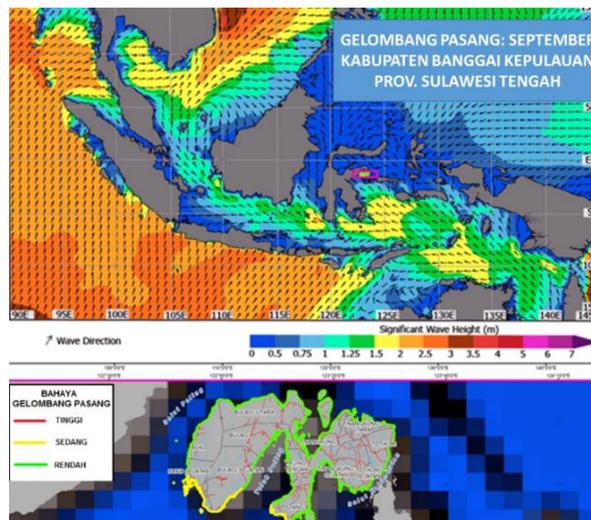
Gambar 8. Peta Bahaya Gelombang Pasang pada Agustus 2017  
(Sumber: BMKG dan Pengolahan Data, 2017)

Dengan mengacu Gambar 9 yaitu Peta potensi Gelombang Pasang bulan September yang dirilis oleh BMKG tahun 2017, maka nampak arah gelombang pasang memasuki wilayah perairan Kabupaten Banggai Kepulauan khususnya wilayah perairan Pulau Peling berasal dari arah tenggara atau dari arah Laut Banda. Intensitas dan sumber gelombang tinggi yang berada di Laut Banda ini mengarah ke perairan selatan pesisir Pulau Peling. Intensitas dan kuat gelombang pasang dari arah laut Banda sempat menguat hingga mencapai tinggi gelombang 1.5 – 2 m, namun kemudian melemah sampai perairan selatan pesisir selatan Pulau Peling, sehingga zona ancaman bahaya gelombang pasang yang diterima atau masuk perairan selatan bagian timur (tenggara) ini berada pada zona rendah. Akan tetapi dengan melihat arah gelombang yang lebih kuat akan diterima di wilayah sebelah baratnya dan masuk zona sedang.

Secara administrasi wilayah pesisir yang masuk zona sedang adalah pesisir di Kecamatan Buko Selatan dan Bulagi Selatan bagian selatan dan juga sedikit di perairan tanjung pesisir perbatasan Kecamatan Peling Tengah dan Liang.

Sedangkan pada bulan Oktober pola arah gelombang yang bersumber dari Samudera Pasifik telah terjadi perubahan dari bulan sebelumnya yaitu secara arah lurus dari Samudera Pasifik dari arah timur laut menuju perairan Banggai Kepulauan (laut Pulau Peling). Gelombang Pasang tinggi yang berada di Samudera Pasifik juga telah melemah hingga menyebabkan tinggi gelombang yang relative rendah antara 0.5 m maksimum 1 m di perairan utara Pulau Peling dan masuk dalam zona ancaman/bahaya rendah.

Begitu juga pada wilayah pesisir bagian selatan, ancaman gelombang pasang masih berasal dari Laut Banda. Akan tetapi kuat gelombang dari wilayah perairan Laut Banda juga nampak telah melemah hingga memasuki wilayah perairan pesisir selatan, sehingga zona ancaman bahaya gelombang pasang yang diterima atau masuk perairan selatan bagian timur (tenggara) ini berada pada zona rendah. Dengan melihat pola datangnya gelombang pasang baik dari arah timur laut maupun dari arah tenggara, ancaman bahaya gelombang pasang relatif rendah, sehingga pada bulan Oktober ini, termasuk mempunyai tingkat zona rendah pada semua wilayah pesisir pantai Pulau Peling.



Gambar 9. Peta Bahaya Gelombang Pasang pada September 2017

(Sumber: BMKG dan Pengolahan Data, 2017)

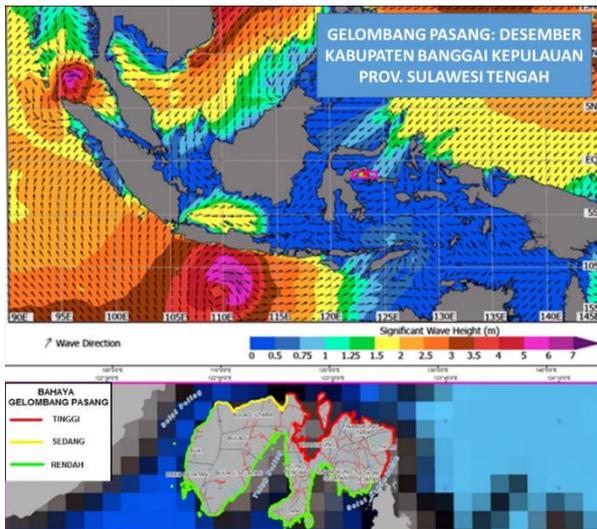
Masih berdasarkan dari peta gelombang pasang pada bulan November yang dirilis oleh BMKG tahun 2017, pola pada bulan November sama dengan pola gelombang pada bulan Oktober. Pada bulan November seperti halnya pada bulan Oktober, memiliki tingkat zona rendah pada semua wilayah pesisir pantai Pulau Peling.

Sedangkan pada peta gelombang pasang bulan Desember yang dirilis oleh BMKG tahun 2017, pola pada bulan Desember telah terjadi perubahan intensitas dan kuat gelombang pasang dibandingkan dengan bulan November. Sebagaimana terlihat pada Gambar 10, pola arah gelombang yang diterima di wilayah perairan Banggai Kepulauan khususnya perairan sekitar Pulau Peling masih berpola dan berasal dari Samudera Pasifik (dari arah timur laut) untuk wilayah perairan bagian selatan dan dari arah laut Banda (dari arah tenggara) untuk wilayah perairan bagian selatan. Nampak juga bahwa terjadi gelombang yang sangat besar hingga mencapai 3 – 3.5 m yang terjadi di Samudera Pasifik. Pola arah gelombang pasang tinggi yang terjadi di Samudera Pasifik juga telah melemah, namun kuat gelombang ini masih mencapai hingga ketinggian 1 m dan menerpa wilayah perairan utara Pulau Peling bagian timur dan masuk dalam zona ancaman/bahaya tinggi.

Dampak dan ancaman bahaya gelombang ini juga telah mereda pada wilayah perairan utara Pulau Peling sebelah barat dengan intensitas bahaya pada zona sedang.

Ancaman bahaya tinggi (zona tinggi) berada di perairan pesisir Kecamatan Tinangkung Utara, Tinangkung, Bulagi Utara (bagian timur) dan Bulagi (bagian timur). Sementara itu wilayah perairan yang masuk zona sedang adalah wilayah perairan pesisir Kecamatan Bulagi Utara.

Dengan melihat pola datangnya gelombang pasang baik dari arah timur laut maupun dari arah tenggara, ancaman bahaya gelombang pasang pada bulan Desember ini zona tinggi berada di pesisir utara dan zona rendah pada wilayah perairan pesisir selatan, timur dan barat.



Gambar 10. Peta Bahaya Gelombang Pasang pada Desember 2017  
(Sumber: BMKG dan Pengolahan Data, 2017)

## 5.2 ANALISIS POLA BAHAYA GELOMBANG PASANG

Berdasarkan pembahasan bahaya gelombang pasang yang telah diuraikan sebelumnya, maka gelombang pasang yang memasuki wilayah Banggai Kepulauan dapat dikelompokkan menjadi 2 pola utama, yaitu gelombang pasang yang berasal dari Timur Laut bersumber dari Samudera Pasifik dan gelombang pasang yang berasal dari Tenggara sumber di Laut Banda. Secara umum, pola gelombang pasang Timur Laut terjadi pada periode bulan November hingga Maret, dan pola gelombang pasang Tenggara terjadi pada periode bulan Mei hingga September. Masa transisi terjadi pada bulan April dan Oktober.

Pada bulan April, pengaruh gelombang pasang dari Timur Laut makin melemah dan gelombang pasang dari Tenggara mulai menguat. Pada bulan Oktober, pengaruh gelombang pasang dari Tenggara makin

melemah dan pengaruh gelombang pasang dari Timur Laut mulai menguat. Kedua pola gelombang pasang tersebut memberikan ancaman bahaya bagi pantai dan pesisir wilayah Banggai Kepulauan.

1. Pada periode gelombang pasang Timur Laut, khususnya pada bulan Februari, Maret, dan Desember, tinggi gelombang pasang yang memasuki wilayah perairan Timur Laut Pulau Peling berkisar antara 1 hingga mencapai 3 meter sehingga memberikan ancaman bahaya gelombang pasang yang tinggi di pesisir Utara, Timur, hingga Timur Laut Pulau Peling. Pada bulan Februari, tingkat ancaman bahaya yang tinggi adalah di Pesisir Kecamatan Tinangkung Utara (terutama di perairan Tanjung Selo-Selo), Tinangkung, dan Bulagi Utara. Pada bulan Maret, tingkat ancaman bahaya yang tergolong tinggi adalah di pantai Timur Laut Pulau Peling, Selat Kalumbatan, hingga perairan Selatan Pulau Peling. Pada bulan Desember, tingkat ancaman bahaya yang tinggi adalah di Perairan Utara Pulau Peling bagian Timur, Perairan Pesisir Kecamatan Tinangkung Utara, Tinangkung, Bulagi Utara bagian Timur, dan Bulagi Timur.
2. Pada periode gelombang pasang Tenggara, khususnya pada bulan Mei, Juni, dan Juli, tinggi gelombang pasang yang memasuki wilayah Perairan Selatan-Tenggara Pulau Peling berkisar antara 1 hingga mencapai 3 meter sehingga memberikan ancaman bahaya gelombang pasang yang tinggi di Perairan Selatan Pesisir Pulau Peling hingga ke Teluk Tolo, dan wilayah Pesisir Pantai Barat Pulau Peling. Pada bulan Mei, tingkat ancaman bahaya yang tergolong tinggi adalah di Perairan Pesisir Kecamatan Tinangkung Selatan, Tinangkung, Liang, Peling Tengah, Bulagi, dan Bulagi Selatan. Pada bulan Juni, tingkat ancaman bahaya yang tinggi adalah di Perairan Pesisir Kecamatan Tinangkung Selatan, Tinangkung, Liang, Peling Tengah, Bulagi, dan Bulagi Selatan. Pada bulan Juli, tingkat ancaman bahaya yang tinggi adalah di Pesisir Kecamatan Bulagi Selatan, Bulagi, Peling Tengah, Liang, Tinangkung, Tinangkung Selatan, Kecamatan Buko, Buko Selatan, dan Perairan Pesisir Selat Kalumbatan yaitu Kecamatan Totikum dan Totikum Selatan.

Hasil analisis gelombang pasang bulanan yang terjadi sekitar perairan Kabupaten Banggai Kepulauan dapat dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Zona Bahaya Gelombang Pasang di Perairan Pulau Peling

No	Bulan	Zona bahaya gelombang pasang perairan Pulau Peling, wilayah pesisir bagian -			
		Utara	Selatan	Barat	Timur
1.	Januari	v	v	v	v
2.	Februari	v	v	v	v
3.	Maret	v	v	v	v
4.	April	v	v	v	v
5.	Mei	v	v	v	v
6.	Juni	v	v	v	v
7.	Juli	v	v	v	v
8.	Agustus	v	v	v	v
9.	September	v	v	v	v
10.	Oktober	v	v	v	v
11.	November	v	v	v	v
12.	Desember	v	v	v	v

(Sumber: Pengolahan Data, 2017)

**Keterangan :**

-  : Bahaya rendah
-  : Bahaya sedang
-  : Bahaya tinggi

Dengan melihat rangkuman pada Tabel 1, maka dapat dipolakan bahaya gelombang pasang berdasarkan periode waktu tertentu dengan penjelasannya sebagai berikut:

1. Pada periode bulan Desember – Maret, ancaman bahaya gelombang pasang (zona bahaya tinggi) terjadi di perairan pesisir utara dan pesisir timur (Selat Kalumbatan), sedangkan perairan pesisir selatan barat masuk zona ancaman bahaya rendah.
2. Pada periode bulan April, tingkat ancaman bahaya gelombang pasang kembali masuk dalam zona bahaya rendah untuk seluruh wilayah perairan Banggai Kepulauan (utara, selatan, barat dan timur).
3. Pada periode bulan Mei – Agustus, tingkat ancaman bahaya gelombang pasang tinggi (zona bahaya tinggi) terjadi di wilayah perairan pesisir selatan, untuk wilayah pesisir barat masuk dalam ancaman rendah (zona bahaya rendah), sedangkan di wilayah perairan Selat Kalumbatan masih terindikasi mempunyai tingkat zona bahaya sedang. Pada periode bulan ini terutama bulan Agustus, wilayah perairan pesisir barat juga masing menunjukkan ancaman bahaya tinggi. Sehingga boleh dikatakan pada bulan Agustus ini, semua wilayah perairan pesisir dalam ancaman zona bahaya tinggi kecuali di wilayah perairan pesisir utara.
4. Pada periode bulan September – November, diseluruh perairan pesisir Pulau Peling tidak

terjadi ancaman bahaya gelombang pasang yang tinggi. Semua masuk dalam zona bahaya rendah.

Dari hasil analisis tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa frekuensi terjadinya ancaman bahaya gelombang pasang (zona bahaya tinggi) rata-rata periodenya hampir terjadi selama empat bulan (meskipun ini tidak berarti terjadi setiap hari) pada tiap zona wilayah pesisir. Kecuali di wilayah perairan pesisir barat yang hanya terjadi dalam bulan agustus.

**6. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijelaskan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pola bahaya gelombang pasang di Kabupaten Banggai Kepulauan terdiri dari dua pola utama yaitu bahaya gelombang pasang dari Timur Laut dan bahaya gelombang pasang dari Tenggara. Gelombang pasang dari Timur Laut bersumber dari Samudera Pasifik, sedangkan gelombang pasang yang berasal dari Tenggara bersumber dari Laut Banda.

Pada periode gelombang pasang Timur Laut, khususnya pada bulan Februari, Maret, dan Desember, bahaya gelombang pasang tinggi terjadi di pesisir Utara, Timur, hingga Timur Laut Pulau Peling dengan ketinggian 1 - 3 meter. Pada bulan Februari, tingkat ancaman bahaya yang tinggi adalah di Pesisir Kecamatan Tinangkung Utara (terutama di perairan Tanjung Selo-Selo), Tinangkung, dan Bulagi Utara. Pada bulan Maret, tingkat ancaman bahaya yang tergolong tinggi adalah di pantai Timur Laut Pulau Peling, Selat Kalumbatan, hingga perairan Selatan Pulau Peling. Pada bulan Desember, tingkat ancaman bahaya yang tinggi adalah di Perairan Utara Pulau Peling bagian Timur, Perairan Pesisir Kecamatan Tinangkung Utara, Tinangkung, Bulagi Utara bagian Timur, dan Bulagi Timur.

Pada periode gelombang pasang Tenggara, khususnya pada bulan Mei, Juni, dan Juli, tinggi gelombang pasang yang memasuki wilayah Perairan Selatan-Tenggara Pulau Peling berkisar antara 1 hingga mencapai 3 meter sehingga memberikan ancaman bahaya gelombang pasang yang tinggi di Perairan Selatan Pesisir Pulau Peling hingga ke Teluk Tolo, dan wilayah Pesisir Pantai Barat Pulau Peling.

Pada bulan Mei, tingkat ancaman bahaya yang tergolong tinggi adalah di Perairan Pesisir Kecamatan Tinangkung Selatan, Tinangkung, Liang, Peling Tengah, Bulagi, dan Bulagi Selatan. Pada bulan Juni, tingkat ancaman bahaya yang tinggi adalah di Perairan Pesisir Kecamatan Tinangkung Selatan,

Tinangkung, Liang, Peling Tengah, Bulagi, dan Bulagi Selatan. Pada bulan Juli, tingkat ancaman bahaya yang tinggi adalah di Pesisir Kecamatan Bulagi Selatan, Bulagi, Peling Tengah, Liang, Tinangkung, Tinangkung Selatan, Kecamatan Buko, Buko Selatan, dan Perairan Pesisir Selat Kalumbatan yaitu Kecamatan Totikum dan Totikum Selatan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Arief, Dharma., Kusmanto, Edy., Sudarto. 1994. *Metoda Pengamatan dan Anlisa Gelombang Laut. Jurnal Oseana, Vol. XIX, Nomor 1:1-9*. Jakarta: Balai Penelitian dan Pengembangan Oseanografi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi-LIPI.
- Ayunarita, Sherly., Elizal., Galib, Musrifin. 2017. *Studi Pola Arus, Pasang Surut dan Gelombang di Perairan Pantai Pelawan Desa Pangke Kecamatan Meral Kabupaten Karimun Provinsi Kepulauan Riau*. Pekanbaru: Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau.
- Baharuddin., Pariwono, John I., Nurjaya, I Wayan. 2009. *Pola Transformasi Gelombang dengan Menggunakan Model RCPWave pada Pantai Bau-Bau, Provinsi Sulawesi Tenggara*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.
- BIG. 2017. *Peta RBI Digital Skala 1:50.000*. Cibinong: Badan Informasi Geospasial
- BMKG. 2017. *Peta Online BMKG*. <http://peta-maritim.bmkg.go.id/static/>
- BNPB. 2014. *Rencana Nasional Penanggulangan Bencana 2015-2019*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- BNPB. 2012. *Buku Saku Tanggap Tangkas Tangguh menghadapi Bencana*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- BPS. 2017. *Kabupaten Banggai Kepulauan Dalam Angka*. Salakan: Badan Pusat Statistik.
- Putri, Dio Mega., Tarigan, A.Perwira Mulia. 2016. *Analisis Statistik Gelombang yang Dibangkitkan oleh Angin untuk Pelabuhan Belawan*. Medan: Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.
- Mulyabakti, Chandrika.,Jasin, M.Ihsan.,Mamoto, J.D. 2016. *Analisis Karakteristik Gelombang dan Pasang Surut pada Daerah Pantai Paal Kecamatan Likupang Timur Kabupaten Minahasa Utara. Jurnal Sipil Statik, Vol.4 No.9*. Manado: Fakultas Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi.