

BAB 2 **KAJIAN PUSTAKA**

2.1 Gambaran Umum Kabupaten Berau

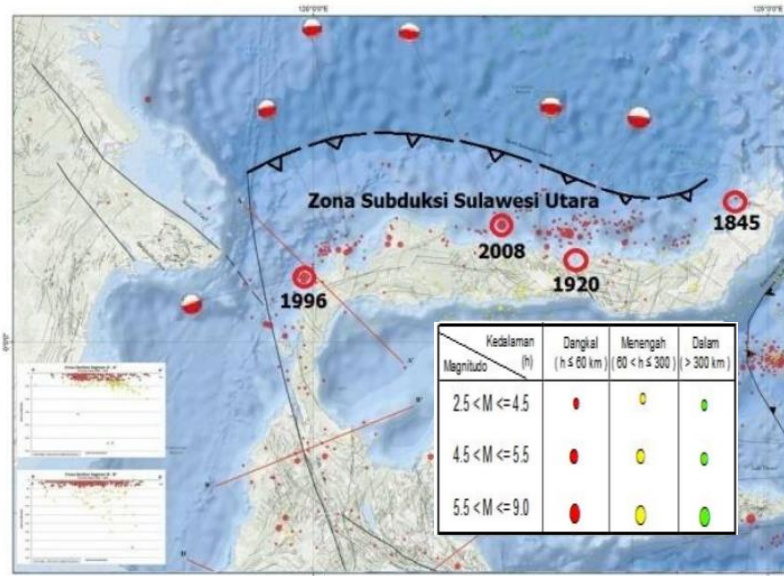
Kabupaten Berau memiliki luas wilayah sekitar 34.127 km², terletak antara 116° Bujur Timur sampai dengan 119° Bujur Timur dan 1° Lintang Utara sampai dengan 2° 33' Lintang Selatan. Kabupaten Berau terbagi dalam 13 kecamatan dan 110 desa atau kelurahan. Daratan berupa barisan perbukitan yang sebagian besar tidak berpenghuni, dan memiliki banyak sekali aliran sungai yang bisa dijadikan sebagai transportasi utama (Pemkab Berau, 2014). Secara administratif Kabupaten Berau berbatasan langsung dengan daerah seperti di sebelah utara adalah Kabupaten Bulungan yang masuk di provinsi Kalimantan Utara. Di sebelah selatan berbatasan langsung dengan Kabupaten Kutai Timur, di sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Malinau dan di sebelah timur berbatasan langsung dengan Selat Makasar (Pemkab Berau, 2014).

Pada penelitian ini yang difokuskan pada salah satu kelurahan yakni Kelurahan Tanjung Batu Kecamatan Pulau Derawan Kabupaten Berau. Kelurahan Tanjung Batu sekaligus sebagai ibukota dari Kecamatan Pulau Derawan, dengan luas kecamatan sekitar 3.358 km². Jumlah penduduk pada tahun 2014 sebanyak 9.710 jiwa (Pemkab Berau, 2014). Kelurahan Tanjung Batu berada di pesisir Kecamatan Pulau Derawan yang memiliki resiko terdampak tsunami dari gempa bumi tektonik baik yang bersumber dari lokal maupun non lokal.

2.2 Potensi Gempa bumi di Utara Pulau Sulawesi

Bagian utara Pulau Sulawesi memiliki potensi gempa bumi dengan skala besar dan berpotensi tsunami. Akibat adanya tumbukan antara lempeng benua yakni lempeng Filipina, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Tumbukan antar lempeng tersebut menimbulkan adanya zona subduksi atau area penunjaman. Area penunjaman tersebut menimbulkan efek potensi terjadinya *megathrust*. *Megathrust*

tersebut mengalami pergerakan 42-50 mm/tahun (Socquet, 2006). Dalam beberapa dekade terakhir, tercatat beberapa kejadian gempa bumi besar terjadi di kawasan utara Pulau Sulawesi. Pada awal tahun 1996 gempa dengan skala 7.9 mengguncang area Toli-Toli bagian utara dan menyebabkan tsunami. Selanjutnya pada 12 tahun mendatang, juga telah terjadi gempa dengan skala 7.3 dan berpotensi tsunami. Gempa tersebut menyebabkan kerusakan pada bangunan dan timbulnya korban jiwa (Setiyono, 2008).



Gambar 2. 1 Peta tatanan tektonik Pulau Sulawesi (BMKG, 2017)

Berdasarkan pada Gambar 2.1 di atas zona subduksi terlihat pada gambar ditunjukkan dengan garis tebal putus-putus dengan segitiga yang sudutnya mengarah ke wilayah Pulau Sulawesi. Titik-titik merah pada gambar merupakan episenter gempa bumi yang pernah terjadi dalam kurun sejak tahun 1905 sampai dengan tahun 2016. Lingkaran merah adalah lokasi kejadian gempa bumi yang sudah pernah terjadi serta menimbulkan tsunami, dan lingkaran merah putih merupakan bola fokal atau mekanisme gempa yang pernah terjadi. Pada Gambar 2.1 di atas memperlihatkan bahwa sudah sering terjadinya gempa-gempa kecil dan juga beberapa gempa besar yang terekam. Hal ini dapat dikaitkan bahwa aktivitas tektonik yang sangat tinggi dan berpotensi gempa dengan skala *magnitude* tinggi. Distribusi penyebaran gempa tersebut termasuk kedalam gempa dangkal dengan

kedalaman kurang dari 60 km, hal ini tentu diakibatkan oleh daerah tersebut termasuk kedalam zona subduksi lempeng laut Sulawesi (BMKG, 2017). Rekam jejak masa lalu menunjukkan bahwa pada tahun 1845 dan 1920 telah terjadi gempa bumi dan tsunami dengan besarnya kekuatan gempa tidak diketahui, sebab teknologi yang belum memadai terlebih Indonesia masih dalam jajahan Belanda. Sedangkan dalam beberapa waktu terakhir juga telah terjadi tsunami akibat gempa bumi tektonik pada 1 Januari 1996 dengan kekuatan gempa sekitar 7.9 di wilayah Toli-Toli, dan 16 November 2008 dengan kekuatan gempa 7.3 di utara Gorontalo.

2.3 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan getaran yang dirasakan di permukaan bumi akibat adanya pergerakan kerak bumi. Gempa bumi juga menunjukkan daerah asal terjadinya gempa bumi tersebut. Gempa bumi biasa terjadi akibat adanya tekanan energi yang besar, menyebabkan pergerakan lempeng di kerak bumi (Fauzi, 2010). Pergerakan lempeng di bawah permukaan bumi, akan memiliki kerapatan massa yang lebih besar ketika bertumbukan dengan lempeng benua yang besar. Pergerakan tumbukan tersebut nantinya akan mengalami perlambatan akibat adanya selubung bumi. Hal ini akan menyimpan energi yang cukup besar pada area zona subduksi dan zona patahan. Energi yang tersimpan akan terus mencoba keluar dari lapisan bumi, sehingga menyebabkan adanya patahan tersebut (Departemen ESDM, 2005).

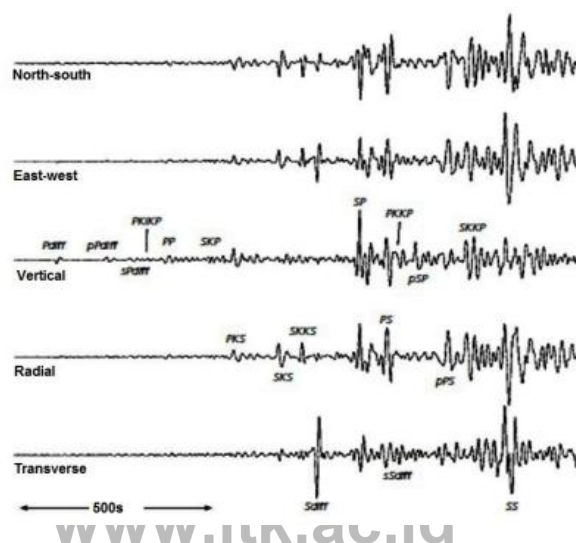
Perbedaan lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah merupakan gelombang gempa bumi atau gelombang seismik. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi getarannya dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi seperti bangunan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan korban jiwa dan harta benda (Sunarjo dkk, 2012).

Berbeda dengan letusan gunung api dan bencana alam lainnya yang didahului dengan tanda-tanda atau gejala-gejala yang muncul sebelumnya. Kejadian gempa bumi selalu datang secara mendadak dan mengejutkan sehingga menimbulkan kepanikan umum yang luar biasa karena sama sekali tidak terduga sehingga tidak ada seorangpun yang dapat mempersiapkan diri. Akibat yang ditimbulkan gempa

bumi luar biasa dahsyat karena mencakup wilayah yang sangat luas, menembus batas teritorial negara bahkan antar benua titik sifat getaran gempa bumi yang sangat kuat dan merambat ke segala arah mampu menghancurkan bangunan-bangunan sipil yang terkuat sekalipun (Sunarjo dkk,2012).

Pada penelitian ini dilakukan simulasi pemodelan dengan menggunakan gempa tektonik. Gempa tektonik adalah gempa yang kekuatannya paling besar dibanding dengan jenis gempa-gempa lainnya. Gempa bumi erat sekali hubungannya dengan aktivitas lempeng tektonik baik skala regional maupun global. Lempeng tektonik bumi akan terus bergerak karena sifat dari bumi sendiri yaitu dinamis. Pergerakan lempeng tersebut bisa saja saling menjauh antar lempeng, saling mendekat antar lempeng, atau saling menggelangsar.

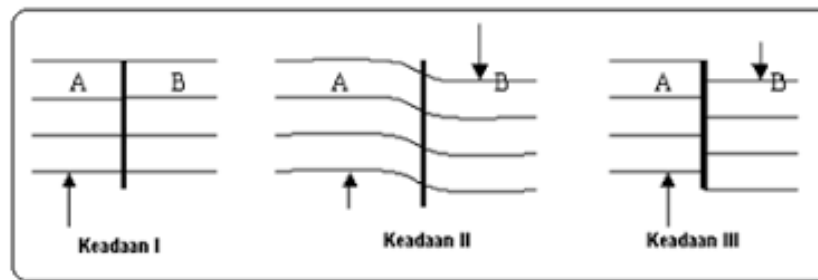
Gerakan lempeng tektonik atau massa batuan dapat saling beradu, saling mengisi saling tarik dan kombinasi di antaranya: lempeng tektonik yang saling beradu atau menggeser akan mengakibatkan tegangan atau deformasi dan berarti akan terjadi akumulasi energi regangan. apabila tegangan batuan yang terjadi sudah merasa demikian besar dan tidak lagi dapat ditahan oleh batuan maka kerusakan batuan akan terjadi titik kerusakan lapisan kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba menimbulkan getaran yang disebabkan ke semua arah yang selanjutnya merambat sampai ke permukaan tanah titik getaran tanah tersebut dikenal sebagai gempa bumi tektonik (Pawirodikromo, 2012).



Gambar 2. 2 Komponen Seismogram (Stein dan Wysession, 2003)

Gambar 2.2 di atas menunjukkan hasil rekaman pergerakan tanah pada kejadian gempa bumi Mariana *trench* 23 Agustus 1995 secara lengkap dalam 3 komponen sumbu kartesian, yang terdiri dari komponen vertikal dan komponen horizontal. Jika dilihat pada gambar di atas maka gelombang P terlihat jelas pada komponen vertikal, gelombang S vertikal juga terlihat jelas pada arah radial, dan gelombang S horizontal terlihat jelas pada komponen transversal (Sarin dan Dabas, 2016). Penentuan parameter kejadian gempa bumi dapat diketahui berdasarkan hasil rekaman dari gelombang seismik. Penentuannya dapat diketahui dengan perbandingan waktu tiba gelombang. Pada saat gempa bumi berlangsung, di bagian awal seismograf dari suatu gempa bumi akan menghasilkan gelombang P dengan perkiraan *amplitude* yang lebih kecil dari pada gelombang-gelombang yang selanjutnya. Kejadian yang terekam selanjutnya adalah gelombang S yang memperlihatkan lintasan yang lebih pendek. Kecepatan gelombang S lebih lambat dibandingkan dengan gelombang P, sehingga diperlukan waktu 2 kali lebih lama untuk gelombang S dapat mencapai stasiun pencatat (Stacey, 1997). Gerakan tanah akan menciptakan gelombang elastik yang merambat ke segala arah di bagian bumi atau gelombang badan dan juga merambat di permukaan bumi yang biasa disebut gelombang permukaan (Puslitbang BMKG, 2016).

Pada saat setelah terjadi gempa maka akan ada bentukan deformasi dari permukaan tanah yang terbentuk. Hal ini dapat dilihat seperti naiknya permukaan tanah, atau turunnya permukaan tanah serta pergeseran batuan. Sedangkan energi gelombang akan memberikan getaran terhadap medium yang lebih elastis sehingga getaran gelombang akan menjalar ke segala arah (Ardiansyah, 2014). Gelombang badan terdiri dari 2 jenis, yakni gelombang primer P dan gelombang sekunder S. Gelombang P adalah gelombang longitudinal yang gerakan partikelnya searah dengan perambatannya. Sedangkan gelombang S merupakan gelombang sekunder yang gerak partikelnya tegak lurus dengan perambatannya (Sunarjo, 2012).



Gambar 2. 3 Mekanisme gempa bumi yang menjadi sumber gempa tektonik (Ardiansyah, 2014).

Gambar 2.3 menunjukkan bagaimana mekanisme gempa bumi tektonik terjadi. Pada keadaan I terlihat bahwa keadaan permukaan dan bawah permukaan belum mengalami perubahan bentuk yang terlihat bagian A dan bagian B masih sejajar. Hal ini terjadi karena tidak adanya pengaruh terhadap pergerakan lempeng yang saling menumbuk. Ketika sudah terkumpul energi dengan kapasitas besar maka akan dengan mudah untuk mengubah bentuk geologi tersebut (Ardiansyah, 2014). Keadaan II menunjukkan adanya gaya tektonik yang bekerja dari pergerakan lempeng tersebut (Madlazim, 2010). Energi yang terakumulasi mulai memberikan gaya untuk terus mendorong lapisan tanah. Pada keadaan III energi yang terakumulasi sudah bekerja memberikan gaya terhadap lapisan. Akumulasi energi ini akan menyebabkan patahan, dan memancarkan keluar ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik (Madlazim, 2010). Gerakan sesar ini akan berjalan terus menerus, sehingga akan ada terjadinya hal yang sama dengan waktu yang lama. Teori ini biasa dikenal dengan nama *elastic rebound theory* (Ardiansyah, 2014).

2.4 Tsunami

Tsunami merupakan rangkaian kejadian bencana yang diakibatkan oleh gempa bumi, longsoran material dengan volume yang besar atau bahkan karena aktivitas vulkanik. Tsunami terjadi akibat patahan yang melepaskan energi hasil akumulasi yang menyebabkan muka air laut baik dengan kapasitas kecil, sedang, maupun besar. Faktor yang sering menyebabkan tsunami adalah gempa bumi, namun tidak semua kejadian gempa bumi dapat menyebabkan tsunami. Tsunami dapat muncul

biasanya akibat gempa dengan *magnitude* yang besar dengan kedalaman yang dangkal. Penunjang terjadinya tsunami dengan gelombang air laut yang tinggi, akibat patahan vertikal sehingga air laut akan bergerak meninggi. Panjangnya gelombang tsunami akan berbanding lurus dengan panjang patahan, dan juga arah dari patahan mempengaruhi arah dominan perambatan gelombang (Pramana, 2015).

Gelombang tsunami bukanlah sebuah gelombang tunggal yang bergerak ke segala arah, melainkan runtutan gelombang yang bergerak terus menerus hingga terjadinya pelemahan energi yang membawa materi air tersebut (UNESCO-IOC, 2006). Pergerakan gelombang tsunami akan identik dengan tinggi gelombang yang bervariasi, berdasarkan besarnya nilai *magnitude* gempa bumi dan kedalaman gempa bumi. Tinggi tsunami terbentuk karena adanya konversi energi kinetik gelombang menjadi energi potensial gelombang. Maksudnya ialah pergerakan gelombang yang dibawa oleh energi tersebut akan mengurangi besarnya energi awal, namun energi tersebut dikonversi menjadi tinggi gelombang (Disaptono dan Budiman, 2006).

Di bagian tengah samudra, kecepatan rambat gelombang tsunami dapat bergerak sangat cepat bahkan mampu hingga 700 km/jam. Di samudra lepas gelombang tsunami biasanya hanya memiliki ketinggian 1 meter. Hal ini akan sangat berpengaruh terhadap besar gelombang di daratan, semakin dalam laut, maka cepat rambat gelombang tsunami akan semakin cepat bergerak, dan ketika mulai bergerak menuju daratan atau semakin dangkal laut, kecepatan rambat gelombang akan semakin lambat. Namun tinggi gelombang air laut bisa semakin tinggi bahkan bisa mencapai di ketinggian 30 meter, bergantung pada besar *magnitude* dan kedalaman episenter gempa (Pramana, 2015).

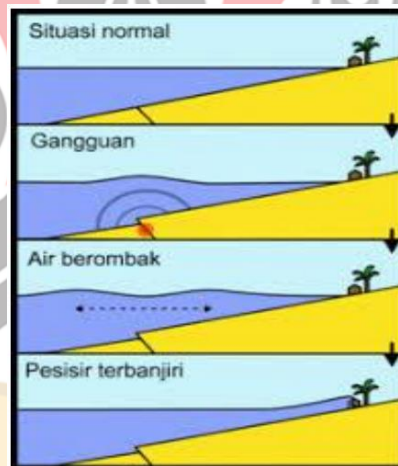
2.4.1 Penyebab Terjadinya Tsunami

Kejadian alam yang menyebabkan tsunami tentu dapat memberikan efek tergulungnya muka air dengan massa yang besar. Berdasarkan presentase penyebab terjadinya gempa bumi yang berpotensi tsunami, disebabkan oleh gempa bumi

tektonik sekitar 97.9% (Disaptono dan Budiman, 2006). Secara umum faktor yang menyebabkan tsunami adalah sebagai berikut:

a. Aktivitas Tektonik

Aktivitas tektonik identik dengan proses pergerakan lempeng bawah permukaan yang menyebabkan tsunami. Pergeseran lempeng tektonik biasa disebut sebagai gempa tektonik. Gempa tektonik merupakan salah satu penyebab terjadinya tsunami yang diakibatkan oleh tumbukan antar lempeng atau patahan bawah permukaan. Dalam kata lain bisa juga disebut sebagai zona subduksi menyebabkan lempeng yang memiliki berat jenis lebih tinggi akan mengalami penyusutan ke arah bawah lempeng dan yang memiliki berat jenis lebih ringan akan mengalami pergerakan ke atas lempeng. Akibat dari peristiwa tersebut akan menyebabkan terjadinya patahan yang diakibatkan oleh tumbukan tersebut sehingga ujung dari lempeng akan timbul ke permukaan yang mengakibatkan timbulnya tsunami (Disaptono dan Budiman, 2006).



Gambar 2. 4 Proses kejadian tsunami yang diakibatkan oleh aktivitas tektonik (ESDM, 2005).

b. Aktivitas Vulkanik

Selain diakibatkan oleh aktivitas tektonik, tsunami juga dapat diakibatkan oleh aktivitas vulkanik. Sama halnya dengan aktivitas tektonik, aktivitas vulkanik juga menimbulkan tsunami yang memiliki kapasitas yang besar. Namun kejadian tsunami yang disebabkan oleh aktivitas vulkanik memiliki frekuensi yang lebih

www.itk.ac.id

kecil atau bisa dikatakan sangat jarang karena aktivitas vulkanik terjadi ketika adanya gunung api yang mulai meletus di beberapa daerah di Indonesia yang memiliki potensi tsunami yang diakibatkan oleh aktivitas vulkanik di antaranya adalah Sumatera, Jawa, Bali, Lombok, Flores, dan Sulawesi (Disaptono dan Budiman, 2006). Beberapa wilayah di Indonesia yang berada dalam kawasan lingkaran api pasifik atau *ring off fire* yang memiliki potensi terjadinya gempa vulkanik dan memicu tsunami. Wilayah *ring off fire* tersebar dari Alaska, Jepang, Sumatera, Jawa, Bali, Lombok dan berakhir di Filipina (USGS, 2007).

c. Longsoran

Selain kedua faktor di atas yang dapat menyebabkan tsunami, yaitu kejadian longsoran. Longsoran akan mengakibatkan tsunami apabila adanya gempa bumi dengan magnet yang terbilang cukup kuat maupun akibat aktivitas letusan gunung api atau vulkanik yang menyebabkan longsor di dasar laut ataupun di atas permukaan laut (Disaptono dan Budiman, 2006).

2.4.2 Jenis-jenis Tsunami

Tsunami dibedakan oleh 2 jenis, yakni yang bersumber di kawasan area terdampak atau jauh di luar area terdampak. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

a. Tsunami Lokal

Tsunami lokal terjadi apabila gempa bumi yang menyebabkan tsunami tersebut berjarak kurang dari 100 km. Tsunami lokal terjadi setelah 5 sampai 40 menit ketika gempa bumi telah mengguncang, dengan kata lain harusnya kejadian tsunami dapat lebih mudah untuk dilakukan mitigasi bencana atau evakuasi terhadap masyarakat yang terdampak di area terdampak karena gempa bumi yang mengguncang memiliki waktu hingga tsunami mulai bergerak menuju tepi pantai. Dengan adanya tenggang waktu antara terjadinya gempa bumi dan tsunami maka hal itu dapat memudahkan dalam proses analisis apakah kejadian suatu gempa bumi dapat menimbulkan tsunami atau tidak. Kebanyakan kejadian tsunami di Indonesia diperparah akibat lambatnya informasi terkait gempa bumi yang berpotensi tsunami, sehingga tsunami sudah mampu menyapu daerah pantai dan menimbulkan

www.itk.ac.id

korban jiwa. Hal ini dapat diakibatkan oleh lemahnya sistem informasi sehingga informasi kejadian tsunami belum sampai ke masyarakat dan dapat menimbulkan korban jiwa yang lebih banyak (Fauzi, 2006).

Kejadian tsunami di Indonesia rupanya masih didominasi oleh tsunami lokal. Tsunami lokal menandakan sumber pemicu tsunami yakni gempa bumi bawah permukaan berada dalam kawasan yang sama dengan daerah terdampak. Hal ini yang menjadi faktor terbesar kesiapan dalam memitigasi bencana tsunami, belum tersedianya infrastruktur dan juga sistem informasi yang memadai di Indonesia. Seperti halnya lambatnya informasi terkait gempa bumi dan potensi tsunami, sehingga gelombang tsunami sudah berhasil menyapu daratan dan belum siapnya masyarakat dalam melakukan evakuasi (Nakamura, 2006).

b. Tsunami Non Lokal (Jarak Jauh)

Berbeda dengan tsunami lokal, tsunami non lokal atau jarak jauh terjadi yang diakibatkan oleh gempa bumi yang jaraknya ribuan kilometer dari area terdampak. Selang waktu tsunami sampai di area terdampak bisa mencapai 24 jam. Setelah terjadinya gempa utama salah satu contoh yang terjadi adalah gempa bumi dan tsunami yang terjadi di Aceh pada tahun 2004 setelah selang beberapa jam gelombang tsunami dapat menyeberang di Samudra Hindia dan sampai di pantai Afrika Selatan (Fauzi, 2006).

2.4.3 Faktor Yang Mempengaruhi Tinggi Gelombang Tsunami

Tsunami sangat identik dengan yang disebut sebagai ketinggian air tsunami. Tentunya ada banyak sekali faktor yang mempengaruhi ketinggian dari air tsunami tersebut, di antaranya adalah bentuk pantai, kelandaian pantai, vegetasi dan struktur penghalang di sekitar pantai, arah gelombang tsunami, dan efek pantulan air tsunami dari pulau (Natawidjaja, 2007). Faktor dari bentuk pantai akan berpengaruh akibat adanya refraksi atau transformasi dari gelombang. Hal ini akan berpengaruh apabila terjadi penyempitan di antara dasar laut maka konsentrasi atau frekuensi terjadinya gelombang air yang lebih tinggi akan dapat terjadi. Faktor kelandaian pantai juga berpengaruh terhadap ketinggian tsunami. Kelandaian pantai yang lebih

www.itk.ac.id

terjal atau memiliki keadaan yang topografinya lebih tinggi maka resiko terjadinya gelombang tsunami dapat diminimalisir, sedangkan apabila pantai yang semakin landai maka air tsunami dapat menyebabkan kerusakan yang lebih parah, karena gelombang tsunami berhasil masuk ke daratan. Di bawah ini adalah tabel indikator kelandaian pantai:

Tabel 2. 1 Indikator kelerengan pantai (Van Zuidam, 1983).

Satuan	Sudut (%)
Datar	0-2
Miring landai	3-7
Miring	8-13
Miring sedang	14-20
Miring terjal	21-55
Miring sangat terjal	55-140
Pegunungan miring sangat terjal	>140

Untuk vegetasi dan struktur penghalang di sekitar pantai akan berpengaruh terhadap kekuatan hutan pantai ketika proses terjadinya tsunami terjadi. Semakin tebal hutan yang ada di area kawasan pantai akan menahan tinggi genangan dari air tsunami yang terlewatkan. Untuk arah gelombang tsunami yang datang dengan arah tegak lurus dengan pantai tentunya dapat menyebabkan tinggi gelombang tsunami akan semakin tinggi jika dibandingkan dengan arah yang lain seperti arah sejajar atau dengan sudut yang tidak tertentu. Selanjutnya adalah efek pemantulan yang diakibatkan dari pulau lain gelombang tsunami dapat memantul yang diakibatkan oleh pulau-pulau yang ada di sekitar area terdampak oleh karenanya efek pantulan ini juga patut untuk diwaspadai terutama di kawasan-kawasan yang rawan bencana tsunami (Natawidjaja, 2007).

2.5 Parameter Tsunami

Tsunami mengalami penjarangan umumnya di laut dalam dan merambat hingga ke bagian dangkal (Nakamura, 2006). Penjarangan gelombang ke bagian dangkal akan menyebabkan beberapa perubahan terhadap gelombang tsunami itu sendiri. Perubahan tersebut dapat dikatakan terciptanya parameter-parameter tsunami. Adapun parameter-parameter tsunami adalah sebagai berikut:

2.5.1 Tinggi Tsunami

Tinggi tsunami merupakan parameter penting dalam kejadian tsunami, karena menjadi penentu terhadap dampak yang diberikan di daratan. Perhitungan nilai ketinggian tsunami dapat dihitung dari titik nol permukaan laut hingga titik puncak atau *amplitude* maksimum pada gelombang tsunami tersebut (Pignatelli, 2009). Ketika berada di tengah laut ketinggian tsunami tidak setinggi dengan yang berada di bibir pantai. Kondisinya relatif seperti gelombang biasa, namun ketika mencapai tepi pantai, ketinggian tsunami akan mengalami perubahan mengikuti keadaan batimetri dari laut tersebut. Tsunami dapat mencapai ketinggian maksimum ketika berada di daerah yang memiliki topografi atau keadaan pantai yang berbentuk U dan V, seperti pada wilayah teluk atau di bagian muara sungai (Pignatelli, 2009). Oleh karena daerah tersebut lebih rawan terhadap bencana tsunami.

2.5.2 Run Up Tsunami

Run up tsunami adalah jangkauan jarak vertikal dari seberapa jauh air menggenangi daratan, yang dihitung hingga titik nol muka laut (Pignatelli, 2009). Parameter antara *run up* dengan ketinggian tsunami akan sangat bergantung dengan besarnya nilai skala atau *magnitude* dari gempa bumi itu sendiri. Selain itu faktor lain seperti bentuk morfologi pantai, keadaan topografi dan juga batimetri akan sangat berpengaruh terhadap efek dari tsunami terhadap daratan.

2.5.3 Inundasi/Genangan

Inundasi atau genangan berbanding terbalik dengan *run up* yang diukur berdasarkan jarak horizontal yang masuk jauh ke daratan (Pignatelli, 2009). Sama halnya dengan kedua parameter di atas, genangan juga akan berpengaruh terhadap besarnya *magnitude* gempa bumi. Genangan sendiri bisa menempuh jarak hingga 300 meter lebih ke daratan dan membawa puing-puing. Dampak tsunami berupa inundasi akan bergantung terhadap topografi daratan, sehingga efek yang ditimbulkan akan bergantung. Berikut adalah rumus perhitungan inundasi berdasarkan *run up* tsunami yang dihitung oleh Hills, Mader, C.L. 1997:

$$X_{max} = (Hs)^{1.33} n^{-2} k \cos S \quad (2.3)$$

dengan H_s adalah tinggi tsunami yang diukur dari titik muka laut, n adalah konstanta untuk *maning* atau kekasaran, k adalah konstanta yang bernilai 0.06 dan S adalah sudut kemiringan permukaan tanah. Berikut adalah tabel nilai koefisien *maning* atau kekasaran:

Tabel 2. 2 Nilai koefisien manning/kekasaran (Berryman, 2006).

Jenis Penggunaan/Lahan	Koefisien <i>maning</i> /Kekasaran
Badan Air	0.007
Semak Belukar	0.040
Hutan	0.070
Perkebunan	0.035
Lahan Kosong	0.015
Lahan Pertanian	0.025
Pemukiman	0.045
Hutan Mangrove	0.025
Tambak/Empang	0.010

2.6 Deformasi Bawah Laut

Pada pemodelan tsunami akan menghasilkan deformasi batuan akibat dari gempa bumi itu sendiri. Pemodelan yang dilakukan penting untuk memasukan parameter-parameter gempa seperti lokasi, besaran dimensi dari patahan yang

berupa panjang dan lebar, koordinat *latitude* dan *longitude*, diskolasi dan parameter lain seperti *dip*, *strike*, dan *slip*. *Strike* dalam parameter ini merupakan sebuah sudut yang timbul akibat gempa bumi pada suatu patahan, sedangkan *slip* merupakan parameter yang menjelaskan terkait pergerakan suatu sisi ke sisi yang lain, dan untuk *dip* merupakan sudut kemiringan yang dimiliki oleh patahan akibat gempa bumi tersebut (Wells, D. L., dan Coppersmith, K. J. 1994). Dalam prinsipnya *slip* dapat dihitung menggunakan persamaan matematis dari momen seismik seperti berikut:

$$D = \frac{M_0}{\mu A} \quad (2.4)$$

dengan D adalah *slip* (meter), M_0 adalah momen seismik (Nm), μ adalah modulus rigiditas kerak bumi (N/m^2) dan A adalah luasan sesar (Km^2) (Wells, D. L., dan Coppersmith, K. J. 1994). Pada parameter dimensi patahan yang berupa panjang dan lebar untuk menghitungnya akan bergantung pada besarnya nilai *magnitude* (M_w) dan juga persamaan momen seismik sebagai berikut:

$$\text{Log } M_0 = (6.08 + M_w) \cdot 3/2 \quad (2.5)$$

(Hanks, Thomas C., Kanamori, H. 1979).

Penentuan dimensi dari patahan dapat ditentukan dengan sebaran dari gempa bumi yang terjadi sebelum gempa utama, serta gempa susulan dari gempa bumi utama. Besarnya nilai *magnitude* gempa bumi utama akan lebih besar daripada gempa bumi awal dan juga susulan. Berikut adalah rumus empiris untuk menentukan dimensi patahan gempa bumi yang berupa panjang dan lebar berdasarkan persamaan papazachos dkk, 2004 sebagai berikut

$$\text{Log } L = 0.55 M_w - 2.19 \quad (2.6)$$

$$\text{Log } W = 0.31 M_w - 0.63 \quad (2.7)$$

untuk memperoleh total luasan dari dimensi patahan adalah sebagai berikut:

$$A = L \times W \quad (2.8)$$

dengan L adalah panjang patahan (km) dan juga W adalah lebar patahan (km) (Papazachos dkk, 2004).

2.7 Magnitudo Tsunami

Sama halnya dengan gempa bumi, tsunami juga memiliki nilai *magnitude* sebagai ukuran kekuatan dari tsunami tersebut. Adapun skalanya yang dibuat oleh Imamura (1949) dan Iida (1958) seperti di bawah ini:

Tabel 2. 3 Magnitudo dan ketinggian tsunami

Magnitudo Tsunami (m)	Ketinggian Tsunami	Kerusakan
-1	<0.5	Tidak ada
0	1	Sangat sedikit
1	2	Beberapa rumah di pantai rusak dan kapal terdampar di pantai
2	4-6	Kerusakan dan korban di daerah tertentu dekat pantai
3	10-30	Kerusakan sampai sejauh 400 km dari garis pantai
4	>30	Kerusakan sampai sejauh 500 km dari garis pantai

Terdapat hubungan antara *magnitude* gempa bumi dengan *magnitude* tsunami yang dirumuskan berdasarkan 82 kejadian tsunami di Jepang. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut:

$$m = 2,30M - 16,20 \quad (2.9)$$

dengan m adalah *magnitude* dari tsunami dan M adalah *magnitude* gempa bumi.

2.8 Waktu Tiba Tsunami

Apabila dilihat dari bentuk gelombang laut, bila rasio antara panjang gelombang dengan kedalaman air menjadi kecil, maka gelombang tersebut disebut gelombang air dangkal. Gelombang tsunami mempunyai panjang gelombang yang sangat besar pada kedalaman laut yang dalam, hal ini menunjukkan bahwa gelombang tsunami berperan sebagai gelombang air dangkal. Kecepatan gelombang air dangkal bergerak dengan kecepatan yang setara dengan akar kuadrat hasil perkalian antara percepatan gravitasi bumi (9.8 m/s^2) dan kedalaman laut (Natural Disaster, 2006). Hal ini sama dengan kecepatan gelombang tsunami yang dirumuskan oleh Thorne Lay dan Terry C Wallace. Dalam penentuan waktu tiba gelombang, perlu diketahui terlebih dahulu yaitu kecepatan gelombang tsunami. Kecepatan gelombang tsunami dapat dirumuskan dengan:

$$v = \sqrt{g \cdot h} \quad (2.10)$$

dengan v adalah kecepatan gelombang tsunami (m/s), g merupakan gravitasi bumi (10 m/s^2), dan h adalah kedalaman laut (m) (Sutrisno, 2006).

Persamaan kecepatan tsunami seperti persamaan 2.10 di atas juga dikemukakan oleh beberapa ahli, yang juga mencoba menganalisis tsunami yang terjadi di Aceh. Ahli tersebut antara lain A. Annunziato, C. Best dengan judul tulisan *The Tsunami Event Analyses and Models (Joint Research Centre European Commission, 2005)* dan Fr'ed'eric Dias & Denys Dutykh dengan judul tulisan *Dynamics of Tsunamiwaves (Ecole Normale Sup'erieure de Cachan, 2005)*.

Apabila pusat terjadinya gempa bumi dapat dianggap sebagai titik awal mula gelombang tsunami tercipta di tengah laut, maka bila kedalaman laut dari titik pusat gempa atau episenter ke wilayah yang sedang diamati, maka dapat dibuat sebuah grafik hubungan antara kecepatan terhadap jarak.

Setelah diperoleh parameter kecepatan rata-rata gelombang tsunami dengan menggunakan persamaan 2.10 maka waktu waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami dapat diperoleh dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$t = \frac{x}{v} \quad (2.11)$$

dengan t merupakan waktu tempuh penjaralan gelombang tsunami (s), x merupakan jarak dari episenter ke wilayah pengamatan (m) dan \bar{v} merupakan kecepatan rata-rata penjaralan gelombang tsunami (m/s) (Sutrisno, 2006).

2.9 Peta dan Pemetaan

Peta adalah suatu benda yang menggambarkan unsur-unsur alam dan buatan manusia. Gambaran unsur tersebut mencakup bagian atas permukaan bumi maupun bawah permukaan bumi, yang digambarkan pada suatu bidang datar dengan memperhatikan nilai skala tertentu. Sedangkan pemetaan adalah proses pengukuran, penggambaran dan perhitungan dengan memanfaatkan suatu metode tertentu sehingga menghasilkan hasil berupa *softcopy* dan *hardcopy* yang berbentuk peta maupun raster (Rumaal, 2018).

2.10 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan:

Tabel 2. 4 Penelitian terdahulu yang telah dilakukan

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	I Putu Dedy Pratama, 2020	Dari pemodelan tsunami tersebut diperoleh jarak inundasi cukup bervariasi mulai 2-3 km 17 ke arah darat, ketinggian tsunami kisaran 9.9 – 16.8 meter dengan <i>run-up</i> maksimum 21 meter. Gelombang tsunami akan sampai di pantai sekitar 24 menit setelah gempa bumi terjadi.
2.	Ramadhan Priadi, dkk, 2020	Dari hasil pemodelan tsunami didapatkan wilayah inundasi maksimal 0,32 km di pemukiman penduduk yang diapit oleh kedua Teluk Pangandaran dan nilai <i>run-up</i> maksimal yang diperoleh setinggi 380,96 cm. Pemodelan tsunami

menghasilkan inundasi dan *run up* yang jauh lebih kecil dari hasil observasi di lapangan diduga telah terjadi segmentasi bidang sesar akibat energi yang dilepaskan lebih besar dibandingkan luasan bidang sesar yang patah, sehingga menimbulkan gelombang yang jauh lebih besar dari hasil pemodelan.

